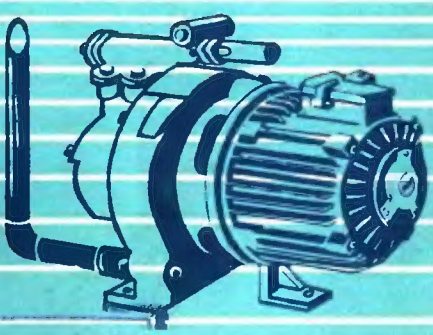
蒸汽机车JF-3型发电机

天津机车车辆机械工厂
北安、武昌机务段 编



72

人民铁道出版社

内 容 简 介

本书叙述了蒸汽机车用JF-3型发电机及电压调整器的构造和作用原理，及其使用、保养、故障处理和检修方法，以及电工基础知识，可供蒸汽机车乘务员及电机钳工学习与参考。

蒸汽机车JF-3型发电机

天津机车车辆机械工厂
北安、武昌机务段 编

人民铁道出版社出版
责任编辑 苏国镇
封面设计 赵敬宇
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫 印张：2.75 字数：60千
1979年2月 第1版 1979年2月 第1次印刷
印数0001—10,000册
统一书号：15043·5116 定价：0.24元

前　言

蒸汽机车 JF-3 型爪极发电机是一项革新产品，经过几年的装车使用，实践证明，JF-3 型爪极发电机和JWF-1Z、JWF-2 型发电机相比，具有结构简单、体积小、重量轻、功率大、节约有色金属、修用方便等优点，深受广大机车乘务员和检修工人的欢迎。哈尔滨铁路局北安机务段、武汉铁路局武昌机务段在使用和检修方面积累了可贵的经验，为推广使用JF-3 型爪极发电机创造了良好条件。

为了便于广大蒸汽机车乘务员和电机检修人员学习和推广使用 JF-3 型爪极发电机，铁道部机务局、工业总局、物资管理局组织了天津机车车辆机械工厂、北安机务段、武昌机务段编写了这本 JF-3 型爪极发电机的学习资料。由于装车使用的时间较短，对使用和检修的经验还要不断地总结和积累，限于时间未能更多地征求各单位的意见，有不当之处，欢迎批评指正。

本书由天津机车车辆机械工厂孙富良、宋迪生、任际林同志执笔，由宋迪生同志总校。

铁道部机务局
铁道部工业总局
铁道部物资管理局
一九七八年六月

目　录

第一章　电工基础知识 ……1
　第一节　电路和欧姆定律 ……1
　第二节　磁与电磁 ……3
　第三节　单相交流电 ……6
　第四节　电路元件 ……9
　第五节　单相整流电路……23
　第六节　交流电的电角度和相位差……27
第二章　JF-3 型发电机的结构和工作原理 ……30
　第一节　汽轮机的结构……30
　第二节　汽轮机的工作原理……34
　第三节　发电机的结构……36
　第四节　发电机的工作原理……39
第三章　JF-3 型电压调整器的结构和工作原理 ……47
　第一节　电压调整器的结构……47
　第二节　电压调整器的工作原理……50
　第三节　发电机和电压调整器的配套试验……60
　第四节　电压调整器典型故障检查分析法……62
第四章　JF-3 型发电机的使用维护和检修 ……65
　第一节　发电机的使用和保养……65
　第二节　发电机的检修……67
　第三节　发电机和电压调整器的性能
　　试验……77
　第四节　发电机的故障处理……78
附　录

附录一　JF-3 型发电机主要零、部件一览表……81
附录二　JF-3 型发电机电压调整器电器元件一览表……81
附录三　JZF 型发电机的使用改装方法……82

第一章　电工基础知识

第一节　电路和欧姆定律

在图1—1中，左边是交流电源的符号，K表示开关，右边是一个灯泡。在图甲中，交流电源虽然有电，但因开关未接通，所以灯泡不亮；在图乙中，由于开关K接通了，在灯泡中流过电流，所以灯泡亮了。这种由电源、开关和用电器相连接的线路，我们称为电路。

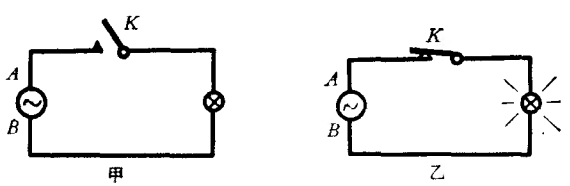


图1—1　电路

为什么电路接通以后，电路内就有电流呢？这是因为电源两端有电位差存在。这就好像河流的水位高低不同，水就从水位高的地方向水位低的地方流。电流和水流的道理一样，因为电源的两端电位高低不同，所以电流就从高电位向低电位流。对直流电源来说，正极电位始终高于负极电位，所以电流是由正极流向负极；对交流电源来说，电源两端的电位是不断互相变化的，一会儿A高于B，一会儿B高于A，所以在交流电路中，电流是不断变换着方向的。JF-3型发电机就是一个交流电源。当电流流过灯泡时，由于灯丝的材料对电流的通过具有一定的阻力，我们称为“电阻”，使灯丝发热

而放光。

从上述可知，在一个电路中，首先必须有一个能维持电位差（又叫电压）的电源，如电池、发电机等；其次必须连接有用电器，如灯泡、电动机等；当用电器与电源连接后，构成通路，电路中就有电流流过。那么电压、电流和电阻这三者之间存在着什么关系呢？科学家欧姆从实验证明：当电路两端电压不变时，电路中电流的大小随电阻值的大小而改变（电阻大时，电流小；电阻小时，电流大）。若电路中电阻值不变时，电流随电压的变动而变动（电压大，电流也大；电压小，电流也小）。我们把这种具有一定规律的关系，叫做欧姆定律。用文字表达如下：电路内电流的大小，与电路两端（或用电器两端）的电压成正比；与电路的（或用电器的）电阻成反比，用公式表示为：

$$\text{电流}=\frac{\text{电压}}{\text{电阻}}。$$

用对应的符号表示为：

$$I=\frac{U}{R}。\qquad(1—1)$$

也可写成：电压＝电流×电阻；或$U=IR$。

$$\text{电阻}=\frac{\text{电压}}{\text{电流}};\qquad \text{或}R=\frac{U}{I}。$$

电流的计量单位是“安培”（简称“安”）。电压的计量单位是“伏特”（简称“伏”）。电阻的计量单位是“欧姆”（简称“欧”）。根据欧姆定律，知道电路中的两个量，可以求出第三个量。

〔例〕一个62.5欧电阻的灯泡，接在50伏的电源两端，试求经过灯泡的电流。

解：已知：$U=50$伏，$R=62.5$欧。

求解：　$I=\frac{U}{R}=\frac{50}{62.5}=0.8$安。

在图1—1甲中，开关K未接通，我们说电路处于“断路”状态。在图1—1乙中，开关K已经接通，我们说电路处于“通路”状态。JF-3型发电机电压调整器面板上的开关，就是为使“电压校正器”处于“通路”或“断路”状态而设。如果两根导线不经过灯泡而直接接在一起，电路中将形成很大的电流，我们说电路处于“短路”状态。在正常的电路里，是不允许发生短路的，它将造成电机的烧损。为了避免因短路而造成的不良后果，在电路上安装保险丝，当电路上因超载或短路产生很大电流时，保险丝被熔化，使电路断开，从而对电源和线路起到保护作用。

第二节　磁与电磁

一、磁

一般人们把能吸引钢铁的磁铁矿石，叫做吸铁石。现在工业上多采用人造磁铁。由于用途的不同，磁铁被制成条形或马蹄形。磁铁吸力最大的两端叫磁极。一端叫南极，用S表示；一端叫北极，用N表示（见图1—2）。

磁极吸力所能达到的范围叫磁场。磁场有强有弱，但磁场是看不见的，为了形象地表示它，我们用磁力线的疏密来表示磁场的强弱。磁力线具有下述特性：

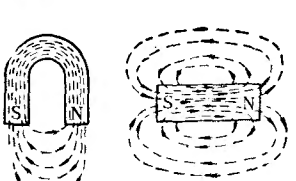


图1—2　磁铁

1．磁铁外部的磁力线，从北极出发回到南极，而磁铁内部的磁力线，从南极回到北极，构成闭合回路。

2. 磁力线永远不交叉，有侧向排挤的倾向。两个同极性的磁极互相靠近时，它们互相推斥。

3. 磁力线具有力图缩短自己的长度的倾向。两个不同极性的磁极互相靠近时，它们互相吸引。

一块磁铁的横截面上通过的磁力线总数，叫做“磁通”，单位是“马”。而单位面积上通过磁力线的多少，叫做“磁通密度”，单位是“高斯”。磁通密度越大，磁场就越强。

二、电流的磁场

在一张撒满铁屑的纸上，穿过一根金属导线（见图1—3），当导线中未通过电流时，铁屑在纸上的分布是杂乱而无规则的。当导线上通有电流时，铁屑将在导线周围排成很多同心圆。靠近导线处的铁屑较密，说明磁场较强；远离导线处的铁屑较稀，说明磁场较弱。同时也可以用磁针来鉴别磁场的方向。当导线中电流方向改变时，磁场方向也将改变。

电流方向和磁场方向之间存在的这种相互关系，可以用右手定则来判断，见图1—4。

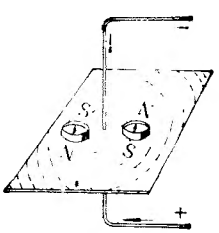


图1—3 通电导体周围的磁场

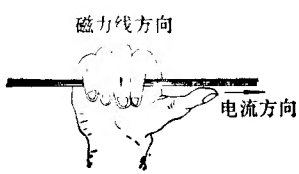


图1—4 右手定则（直导线的磁场判断）

用右手握着直导线，则姆指指示的是电流流动的方向，弯曲的其余四指指示磁力线的方向。

当把通电导线绕成螺管线圈时，线圈所产生的磁场磁力

线的方向，同样可用右手定则来判断，见图1—5。用右手握住线圈，则四指指示线圈中电流的方向，姆指所指方向，就是线圈内部磁场磁力线的方向。此时，这个通电线圈就好象一块条形磁铁，姆指指的方向是北极，另一端则为南极。掌握了这一定则，对了解发电机的磁场和磁路很有用处。

三、磁场中的通电导线

当在磁场中放置一根通有电流的导线时，由于导线周围产生的磁场和磁极磁场的相互作用，导线将受到一个与磁场磁力线相垂直的电磁力，使导线发生移动。通电导线在磁场中受力的方向，可用左手定则来确定（图1—6）。

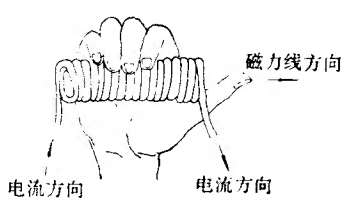


图1—5　右手定则（螺线管的磁场判断）

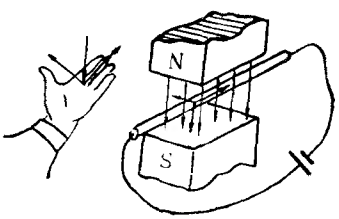


图1—6　磁场对导线的作用力

伸出左手掌，掌心对正北极（N极），姆指和其余四指成垂直位置，则四指指向为导线中电流方向，姆指指示方向即为导线受力后运动的方向。电动机的旋转方向和直流电表指针的偏转方向，都是根据这一定则来判断的。它说明了电能可以转换为机械能。

四、导线切割磁力线产生感应电动势

上面讲了磁场中的通电导线，将受到电磁力而运动。如果我们加一个外力，使导线与磁场作相对运动，即导线切割

磁力线，则在导线两端就会产生感应电动势（图1—7）。

如果在导线两端与一个电阻R接成通路，这个感应电动势使导线两端产生电位差，那么，在电阻R内就有电流流过，电流的流动方向和感应电动势的方向相同。感应电动势的方向，可用右手定则来确定（参看图1—7）。

伸出右手掌，掌心对正北极，姆指和其余四指成垂直位置，则姆指指示导线切割磁力线的运动方向，其余四指指示导线上感应电动势的方向，这表明机械能可以转换成电能，发电机就是根据这个原理制成的。

在JF-3型发电机中，感应电动势的产生也是根据这个原理，不过在这种电机内，导线静止不动，磁极却是移动的，根据前面讲过的导线与磁极相对运动的道理，仍然可以用右手定则来判断感应电动势的方向（见图1—8）。

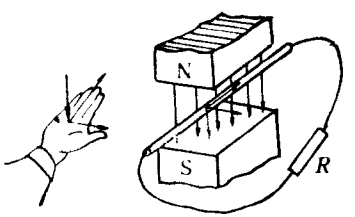


图1－7　导线中的感应电动势

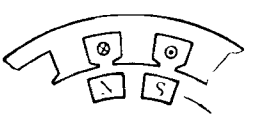


图1－8　JF-3型发电机产生感应电动势示意图

在定子槽中放上一个线圈边，当N极和S极顺时针方向旋转时，相当于磁极不动，槽中导线反时针向左移动，按照右手定则即可判断出与N极相对的导线，电流穿入纸内；与S极相对的导线，电流穿出纸外。

第三节　单相交流电

在蒸汽机车上，多年来一直使用直流发电机照明。直流电的特点是它的大小和方向不随时间发生变化。JF-3型机

车发电机是单相交流发电机，因此，我们必须对单相交流电有所了解。交流电与直流电的区别，在于它的大小和方向，不断地随时间发生变化。通常把这样变化的电流、电压、电动势，分别叫做交变电流、交变电压、交变电动势，统称为交流电。

在电路上只有一个交变电动势或一个交变电流存在，就叫单相交流电路；如果在电路上同时存在着三个交变电动势或三个交变电流，就叫三相交流电路。JF-3型发电机是单相交流发电机，下面仅就单相交流电的产生及其变化规律加以研究。

一、交变电动势的产生

交变电动势通常可用交流发电机来产生。图1—9是一个交流发电机的工作示意图。

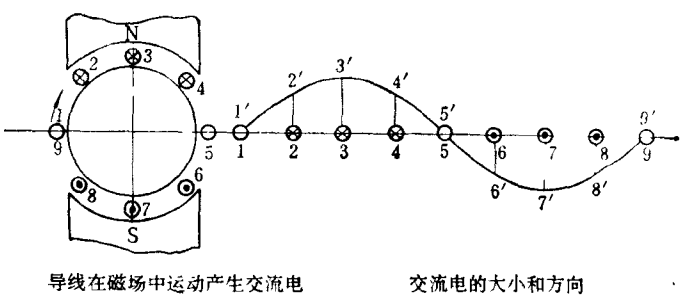


图 1—9　交变电动势的产生

在由一对弧形磁极所形成的磁场中，放着一个单匝线圈，假定其始边在 *1* 的位置，末边在 *5* 的位置，如果让它以圆心为轴，按箭头方向旋转，那么，始边由 *1* 到 *5* 转了半周，再转到 *9* 完成一周。根据右手定则判断，在线圈由 *1* 转到 *5* 时，其始边为电流进入方向，末边为电流穿出方向。当

始边由 5 转到 9 （或回到 1 ）时，始边却为电流穿出方向，而末边却为电流进入方向。右图是一个展开的时间轴，对应于各点位置，用各点上垂直线的长短代表电动势的大小和方向，横轴以上为正方向，横轴以下为反方向。连接成平滑曲线，就是交变电动势的波形。因为这个曲线符合于数学上的正弦函数变化，故称此波形为正弦波。

二、交流电的频率和周期

从图1 -9可以看出，交流电是周期性变化的，由 1 经过 5 再到 9，完成一周正负变化。循环变化一周所需的时间称为周期，用 T 表示，单位是秒。交流电在一秒钟内循环变化的周数称为频率，用 f 表示，单位是赫兹，简称赫。频率与周期的关系是互为倒数，即

$$f = \frac{1}{T}。 \qquad (1—2)$$

JF-3 型发电机的额定频率为450赫，也就是说，它产生的交变电动势，每秒钟发生 450 次循环变化。它的周期，即循环变化一周所需的时间为：

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{450} \approx 0.0022 秒。$$

三、交流电的有效值

正弦交流电的大小和方向时刻在变，这就给电路的计算和测量带来了困难。在图1—9中，3′是正方向最大值，7′是负方向最大值。我们设法让交变电流和直流电流分别流过阻值均为 R 的负载。如果在相同的时间内，这两种电流在负载 R 上所产生的热量相等，我们就把直流电流的数值称为交变电流的有效值，用它来表示交变电流的大小。换句话说，交变

电流的有效值和交变电流在电路中的热效应方面是等效的。

数学计算表明，交变电流的有效值和交变电流的最大值之间存在着下列关系：

$$\text{有效值} = 0.707 \times \text{最大值}。 \qquad (1—3)$$

上述公式对交变电压和交变电动势同样适用。电机铭牌上的额定电压和额定电流都是指的有效值。在试验时用交流电压表和交流电流表测量的数值，也都是有效值。例如JF-3型发电机的额定电压为50伏，这是指的有效值。它的最大值则为 $50 \div 0.707 \approx 70.7$伏。

第四节　电路元件

在JF-3型发电机电压调整器中，安装了一些电阻、电容器、变压器、半导体元件等。本节将对这些元件的用途和工作原理作简要介绍，以便对电压调整器的线路分析有所帮助。

一、电　阻

在第一节中我们已经知道电阻对电流的通过具有一定的阻力。根据电子工业的需要，用炭膜、金属膜、电阻线分别制成不同固定阻值的电阻，也可制成可以调整电阻值的可变电阻。电压调整器面板上安装的电位器就是一种可以旋转调整阻值的可变电阻。图1—10表示固定电阻、可变电阻和电位器的符号。

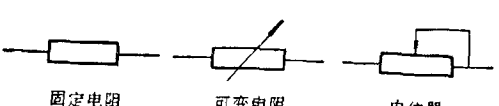


图1—10　电阻符号

电阻的性能指标一个是用阻值来表示，阻值的单位是

“欧姆”，简称“欧”，代号是“Ω”，如10Ω，150Ω……等。对阻值较大的单位，可用千欧（kΩ）、兆欧（MΩ）来表示，其换算关系如下：

$$1\ k\Omega = 1000\Omega;$$

$$1\ M\Omega = 1{,}000k\Omega = 1{,}000{,}000\Omega。$$

作为电阻的另一个性能指标，是它能够承受的功率。功率就是电阻两端的电压和通过电阻的电流的乘积，单位是“瓦”，用符号“W”表示。一般金属膜及炭膜电阻，可做成$\frac{1}{8}$W、$\frac{1}{4}$W、$\frac{1}{2}$W、1 W、2 W等功率。线绕电阻的功率可达到4 W以上。在检修工作中，当遇到阻值相符、功率不符时，只能以功率大的代替功率小的，而不能以小代大。

电阻在电路中的作用是限流、分压和分流。

限流就是指在一定的电路中，串接适当阻值的电阻，使电流限制在符合要求的范围内。根据欧姆定律，当电压一定时，改变电阻将使电流相应地增大或减小。

分压就是将输入电压分成两部分或更多的部分，用固定电阻串接起来可得到固定分压，如果用可调整的电位器，就可得到任意改变比例的分压，图1—11是电位器分压原理图。

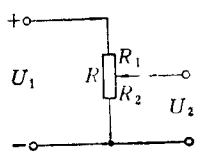


图1—11 电位器分压原理

图中电位器的电阻值为R，它的两端接在直流电压U_1上，中间箭头表示可调旋转臂，此臂的接触点在电阻上滑动，可把电阻R分成R_1和R_2两部分，两部分的比例随臂的滑动位置而改变，从滑触点引出的一条线和负线之间将有一个电压U_2，移动触点的位置，可使U_2在0～U_1之间变化，这就是电位器的分压作用。分压的数值可用下式计算：

$$U_2=\frac{R_2}{R_1+R_2}\cdot U_1。\qquad(1—4)$$

分流就是利用电阻的并联，来分配各部分电流的大小。图 1 —12是电阻分流原理图。

当直流电压U加在电阻R_1两端时，在R_1中将有电流I_1通过。因为此时开关K未接通，所以$I_1=I$。如果U增高了，根据欧姆定律，I将要增大。倘若希望在R_1中流过的电流仍然保持为I_1，怎么办呢？我们把开关K合上，如果R_2的电阻值选择得合适，多于I_1的电流I_2就会从R_2中流过，这就是分流作用。分流的数值可以用下式计算：

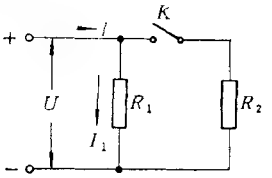


图 1 —12　电阻的分流

$$I_2=\frac{R_1}{R_2}I_1。\qquad(1—5)$$

如果I_1和R_1是已知的，又知道需要分流的数值I_2，那么，可以用下式来计算并联电阻R_2：

$$R_2=\frac{I_1}{I_2}R_1。\qquad(1—6)$$

二、电　容

将两片金属叠在一起，中间用绝缘材料隔开，就组成一只电容器。根据其电容量是否可以改变，分为固定电容器和可变电容器。从用途和构造上来分，有陶瓷电容、云母电容、纸介电容和用铝壳封装的电解电容等等。图 1 —13是电

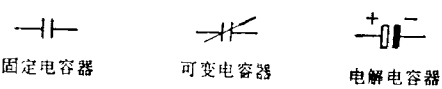


图 1 —13　电容器的符号

容器的符号，电容的符号用“C”表示。

作为电容器的性能指标，一个是电容量的大小，单位是“法拉”，简称“法”（代号是F）。在实际使用上“法”的单位太大，常采用“微法”或“微微法”。

1 微法（μF）$=10^{-6}$法（F）

1 微微法（pF）$=10^{-6}$微法（μF）$=10^{-12}$法（F）

作为电容器的另一个性能指标，是它能够承受多高的电压（称为耐压值）。通常标在电容器上的工作电压，是指直流工作电压，用在交流电路中，要考虑交流电的最大值和其他因素，工作电压要降低使用。电解电容器上标有正负极性，在直流电路中应用时，极性不可接错，更不能接在交流电路上。

电容器接在电路中，有改善电压波动的效能。它能隔断直流电，却能使交流电通过。在交流电路中，它能起到限流作用。

电容器有改善电压波动的效能，这是由它的充、放电特性决定的。图 1—14是电容充放电电路。

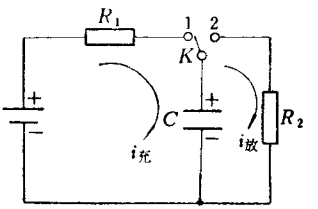


图 1—14 电容充放电电路

当K与*1*接通时，电源电压通过电阻R_1向电容充电，电路中就有一个充电电流$i_{充}$流过，$i_{充}$在开关合上瞬间数值最大，使电容器两端电压逐渐升高，或者说它与电源电压的电位差逐渐减小，$i_{充}$便逐渐减小，到电容两端电压与电源电压相等时，$i_{充}=0$，充电过程结束，此时在电容器内储存了一定的电能。充电电流$i_{充}$和电容器两端电压u_c的变化规律如图 1—15中的曲线所示。从上述可以看出，所谓电容有隔直流作用，是指充电过程结束，电流为零，电路处于稳定状态而言。

如果此时使K与2接通，电容器内储存的电能，将通过电阻R_2进行放电，$i_{放}$和$i_{充}$方向相反。此时u_c和$i_{放}$的变化规律如图1—16曲线所示。从电容充放电的情况分析，不论是在电容两端突然加上电压和突然去掉电压，电容器两端的电压是不能突变的，这就是它能改善电压波动的原因，

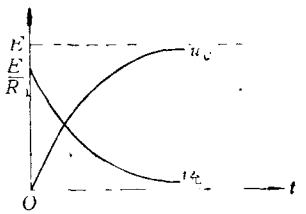


图1—15　电容器充电曲线

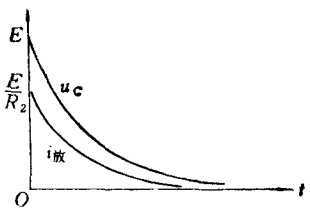


图1—16　电容器放电曲线

在后面讲滤波电路时还要进一步说明。

电容器接在直流电源上，电路呈断路状态。若把它接在交流电源上，因为交流电的方向是不断变化的，电容器正好一会儿充电，一会儿放电，循环往复，因此，电路中便有电流流通，从这个意义上讲，电容器在交流电路中呈通路状态。但是它在交流电路中，也和电阻在电路中一样具有限流作用。计算时常用“容抗”（符号为X_c）来表示电容的限流作用。

$$X_c=\frac{1}{2\pi fC}, \qquad (1—7)$$

式中　π——3.14；

f——交流电的频率（赫）；

C——电容量（法）；

X_c——容抗（欧）。

从公式可知，当电容量一定时，频率越高，容抗越小；频率越低，容抗越大。如果频率一定时，电容量越大，容抗越小；电容量越小，容抗越大。

三、电　　感

在图1—17中，R是一个电位器，L是在导磁铁心上绕制的线圈，甲和乙是两个同样的灯泡。当开关K合上时，灯泡甲立刻着亮，而灯泡乙却逐渐着亮；开关K断开时，灯泡甲立刻熄灭，而灯泡乙却发出强光后再熄灭。这种现象就是电磁感应现象。

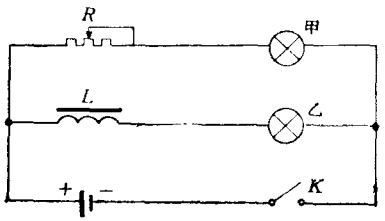


图1—17　自感现象

在第二节已经讲过，当线圈中有电流通过时，它就会产生磁通，当K合上时，线圈L内电流从无到有，磁通也从小到大，这个磁通的变化，会使线圈中产生一个自感应电动势，它与产生电流的电源电压方向相反。当电路中电流趋于稳定，磁通变化停止了，自感应电动势减小为零时，灯泡乙才亮起来。

开关K断开时，线圈内电流减小到零的变化过程，也是其磁通减小的变化过程，此时线圈L中也产生一个自感应电动势，并且与电源电压方向相同，故灯泡乙在断电瞬间，会发出一下强光。这就是说，由于线圈自身的电流变化而在线圈内部产生感应电动势的现象，叫做自感。

从自感现象可知，自感应电动势的方向，即当电路电流增加的瞬间，有阻止其增加的趋势；当电路电流减少的瞬间，有阻止其减少的趋势，所以我们也把自感应电动势称为自感反电势。但须注意：这一自感反电势在稳定的直流电路中是不存在的，只有在开关合上和断开的瞬间产生，换句话说，只有在线圈内磁通增减变化时才产生。在交流电路中，

由于电流的方向和大小时刻在变化着，所以接入电感线圈后，由于自感反电势的存在，也和电阻在电路中一样具有限流作用。计算时常用“感抗”（符号为X_L）来表示电感的限流作用。

$$X_L = 2\pi f L, \qquad (1-8)$$

式中 π ——3.14；

f ——交流电的频率（赫）；

L ——电感量（亨）；

X_L ——感抗（欧）。

电感量的单位为“亨”（代号是H）。在实际使用上“亨”的单位太大，常采用“毫亨”或“微亨”。

1毫亨（mH）$=10^{-3}$亨（H）

1微亨（μH）$=10^{-3}$毫亨（mH）$=10^{-6}$亨（H）

从感抗的公式可知，当电感量一定时，频率越高，感抗越大；频率越低，感抗越小。如果频率一定时，电感量越大，感抗越大；电感量越小，感抗越小。因此，常在电路中接入电感线圈，它让直流通过，而对交流起阻止作用。

四、变 压 器

在JF-3型发电机电压调整器中，装有相复励变压器和测量变压器，它们是根据电磁互感的原理制造的。图1—18是一般变压器的工作原理图。

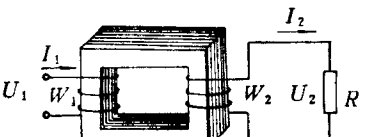


图1—18 变压器工作原理图

在一个闭合的导磁铁心（这个铁心可以是方的，也可以是圆的）上绕着W_1和W_2两个线圈。在W_1中接上交流电压U_1，在W_1中将有交流电流I_1通过。于是在W_1中将产生交变磁通，此磁通沿闭合

铁心磁路流动时，正好穿过线圈W_2，根据自感的原理，在W_2中要产生一个反电势U_2，这种因相邻线圈内电流变化而影响自身产生感应电动势的现象，称为互感，此时U_2也称为互感电动势。如果在W_2上接以电阻R，将相应地有一个交流电流I_2通过，这个电流的大小，仍可用欧姆定律来计算。在变压器中，W_1叫初级线圈，W_2叫次级线圈。如用U_1、U_2、W_1、W_2分别代表初、次级电压及匝数，则有下列关系：

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{W_1}{W_2}。\qquad(1-9)$$

当变压器接近满载时，可以认为

$$I_1W_1\approx I_2W_2,\qquad(1-10)$$

即

$$\frac{I_1}{I_2}\approx\frac{W_2}{W_1}。$$

如果我们把$\frac{U_1}{U_2}$叫做变压比，把$\frac{I_1}{I_2}$叫做变流比，把$\frac{W_1}{W_2}$叫做匝数比，那么，上面的公式可以总结为：变压器的变压比等于其匝数比，变压器的变流比则近似等于其匝数比的倒数。

五、半导体二极管

容易导电的金属材料称为导体，不易导电的材料如橡胶、塑料、陶瓷等称为绝缘体。导电能力介于这二者之间的如锗、硅等，称为半导体。

纯净的半导体材料，原子中的电子不易自由运动，经过实验，只要在其中加入一定数量的杂质，就能使半导体的导电能力增多许多倍。

对于硅或锗半导体来说，加入锑、磷、砷等物质后，在半导体中会产生许多带负电的电子，称为N型半导体。如加入

铟、铝、硼等物质后，在半导体中会产生许多缺少电子的空穴，称为P型半导体。如在同一硅片(或锗片)的两侧，一侧掺上N型杂质，形成N型半导体；另一侧掺上P型杂质，形成P型半导体。在P型和N型之间就形成一个P-N结。

如把P-N结的P区接电源正端，N区接电源负端，P-N结表现了很小的电阻，电流很容易通过。相反，若把外电压反接，则P-N结表现了很大的电阻，电流不易通过。所以说半导体P-N结具有单向导电性。半导体二极管内部就是一个P-N结，利用它的单向导电特性，在电压调整器中进行整流。图1—19是半导体二极管的外形图，图1—20是二极管的符号。

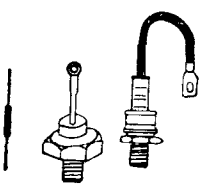


图1—19 半导体二极管

图1—20 二极管符号

另外，当温度升高时，会使一般导电体的电阻值有所升高，但半导体的电阻值反而有所下降，例如当温度升高1°C时，半导体的导电率会增加百分之几到百分之几十，通常称为负阻特性，所以在JF-3型电压调整器的线路中，二极管除作为整流元件外，有的用来起温度补偿作用。

半导体二极管的使用寿命很长，一般可达十万小时以上。但是，如果使用不当，也可能很快地损坏，特别是在检修、更换时，不要随意选用其他型号的代替，一定要了解它的参数和掌握它的测量方法。半导体二极管的主要参数有下列两个：

1. 额定正向电流。是指长期使用时允许流过二极管的

最大正向平均电流。超过这一数值，P-N结会因温度过高而烧坏。所以在使用大功率二极管时，必须加装散热片，并且选择二极管的额定电流时，要比实际最大工作电流有一定的余量。

2. 最高反向工作电压。加在二极管上的反向电压超过一定限度，二极管就被击穿，就失去了整流能力。按规定，工作电压应为击穿电压的$\frac{1}{2}$。

怎样判断二极管的极性和好坏呢？一般是用万用表进行测量。图1—21表示二极管的测量方法。

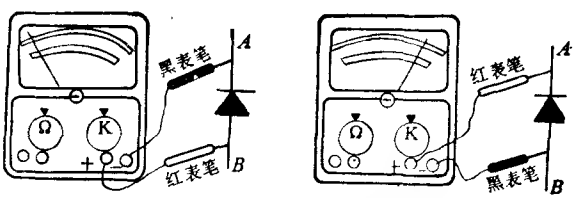


图1—21 二极管的测量

把万用表拨在电阻$R\times100$或$R\times1000$档，根据二极管正向电阻小、反向电阻大的特点，来判断二极管的极性和好坏。万用表的黑表笔带正电，红表笔带负电，用表笔正反向测量二极管的两端，可读到两个电阻值，一个大，一个小，小的即为二极管的正向电阻，大的即为二极管的反向电阻。由图可知A端相当于负极，B端相当于正极。例如量出电阻为几十～几百欧，则黑表笔相连的那一头为正，另一头为负。反向电阻一般为200kΩ以上，反向电阻越大，说明反向漏电流越小。

六、稳 压 管

稳压管的外形与普通半导体二极管相似，也有两个电极。它虽然也是由硅半导体材料制成，但内部结构有所区别。稳压管是反向使用的，普通二极管不能使用在高于反向击穿电压的电路中，稳压管则不同，当它被反向击穿后，在一定的允许电流范围内，电压仍能稳定在一定的范围内，当击穿电压去掉后，稳压管又恢复正常，它不致因击穿电流烧坏P-N结。我们就利用它的这个可贵特性，将击穿后能稳定在一定范围的电压值，称为稳定电压值，用U_W表示。它的长期允许最大工作电流，用I_{Wm}表示。图1—22是稳压管的符号。图1—23是稳压管的测量电路。

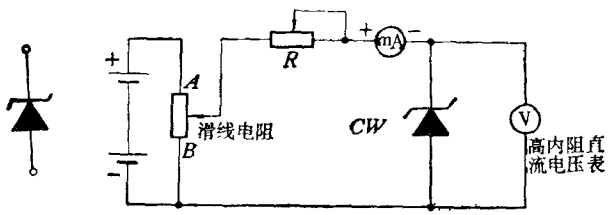


图1 22
稳压管的符号

图1 -23 稳压管测量电路

当滑线电阻由B端向A端滑动时，电压表指示的电压值上升。假定被测的稳压管，在7伏以下时，毫安表读数很小，说明此时稳压管的反向电流很小；当电压在7伏至7.8伏时，反向击穿电流增加稍快；当由7.8伏逐渐升至8伏时，反向电流剧增，例如从7.8伏的1毫安增至30多毫安。由手册查知，$2CW_1$型稳压管的$U_W=7.8$伏，$I_{Wm}=33$毫安。所以，被测的稳压管即为$2CW_1$型。如果已知稳压管的型号，但查不到数据，也可用上述方法测出其稳压值。电路图中的R为限流电阻。

七、半导体三极管

前面已经讲过，半导体二极管就是一个P-N结。半导体三极管则是由两个P-N结组成的。由于材料和结构的不同，可分为两大类：PNP型和NPN型。内部结构和在电路中的符号如图1—24所示。

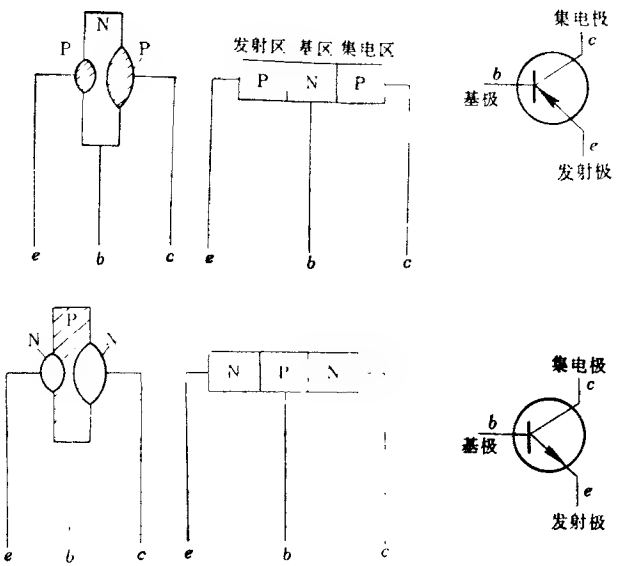


图1—24 三极管结构示意和符号

由图1—24中看出，半导体三极管由三层半导体组成，形成两个P-N结，各层的引出线就是三个极。PNP型三极管，中间N型半导体的引出线叫基极，用 b 表示，它起控制作用；左边与N型半导体接触面较小的P型半导体的引出线是发射极，用 e 表示；右边的P型半导体为集电极，用 c 表示。NPN型三极管则是由两层N型半导体夹着一层P型半导

体所组成。发射极的箭头表示电流的方向。在JF-3型电压调整器中有一只6A1D6C型三极管，它只有两根引线 e 和 b，它的外壳部分就是集电极 c，这是为了散热和加装散热器用的。这个三极管装在电压调整器的铝质面板上，面板就是它的很好的散热器。

半导体三极管的主要作用是放大，下面分析一下它的放大作用原理。图1—25是试验半导体三极管放大作用的电路。

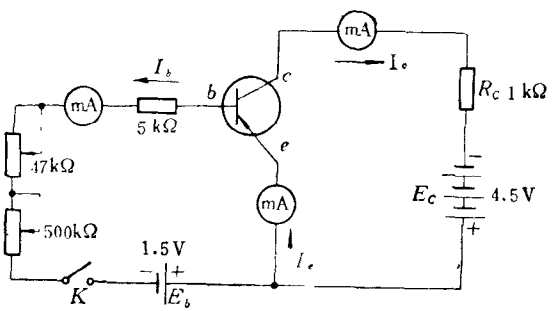


图 1—25　三极管放大作用试验电路

由图1—25可见，合上开关K，基极电源E_b对发射结（发射极与基极之间的P-N结）加上正向电压，由于P-N结的正向电阻很小，故较小的电压就会产生较大的正向电流，这个电流从发射极流入，称为发射极电流I_e。由于集电极接在电源E_c的负端，发射极接E_c的正端，所以E_c通过发射结的正向电阻对集电结（集电极与基极之间的PN结）加上反向电压，当发射极电流流入基区时，由于基区做得极薄，电流很容易穿过基区进入集电结，在反向电压的作用下，从集电极流出，形成集电极电流I_c。其中只有很小一部分电流从基极流出，回到E_b的负端，形成基极电流I_b。由此可见，发射极电流I_e等于集电极电流I_c与基极电流I_b之和，即

$$I_e = I_c + I_b, \qquad (1-11)$$

这就是半导体三极管的电流分配关系。对于NPN型三极管，电流方向相反，仍符合上述分配关系。在图1—25的电路中，改变电位器的电阻值使基极电流由小往大里变化，便可相应地记录下集电极电流I_c和发射极电流I_e的数值，见表1—1。

表1—1

I_e毫安 (mA)	0	0.3	1	2	3	5	10	20
I_c毫安 (mA)	0.006	0.3	0.99	1.972	2.96	4.935	9.89	19.8
I_b毫安 (mA)	-0.006	0	0.01	0.028	0.04	0.065	0.11	0.2

从表1—1的数据中可以看出：

1. 不管三极管电流如何变化，始终符合电流分配关系式：$I_e = I_c + I_b$。

2. 当基极电流$I_b = 0$时，集电极电流I_c虽不为零，但数值很小，这个电流叫做三极管的穿透电流。此时称三极管工作在截止状态。

3. 当基极电流I_b从0.01毫安变化到0.028毫安时，集电极电流I_c却从0.99毫安变化到1.972毫安，这说明基极电流的微小变化，会引起集电极电流的较大变化，也就是说三极管的基极对集电极有控制作用，这也就是所谓放大作用。取这两个变化量的比，即

$$\frac{1.972-0.99}{0.028-0.01}=\frac{0.982}{0.018}=54。$$

这个比值说明集电极电流I_c的变化量为基极电流I_b变化量的54倍。称为这个电路的电流放大倍数，用β表示。凡是因基极电流微小变化，能引起集电极电流显著增加时，称三极管工作在放大状态。

4. 当基极电流足够大时，再增加基极电流而集电极电流变化极小或不再变化，这种情况称为三极管工作在饱合状态。

图1-25是以三极管发射极为公共端，所以称为共发射极接法。根据电路的需要，还可接成共基极接法与共集电极接法，因为JF-3型电压调整器中是采用共发射极接法的，所以其他接法就不作介绍了。

下面介绍用万用表判别三极管管脚极性的方法。以NPN型三极管为例。

1. 先找出基极 b：先用负表笔（电池正端）接到任一个管脚上，正表笔分别与另外两个管脚相接，可轮流试验，如果正表笔测出两个电阻值都小，则负表笔接的就是基极 b。如果测PNP型三极管，则相反：正表笔（电池负端）固定在一个管脚上，当负表笔测出两个阻值最小时，则接正表笔的管脚即为基极。

2. 再找集电极 c 和发射极 e：把万用表放在"$R\times100$"档或"$R\times1$K"档，将两只表笔分别接于待测的两个管脚上，用手捏住基极和接负表笔的一个管脚，注意两只管脚要相距很近，但不要短接，如测出电阻较小，则接负表笔的那只管脚为集电极，另一个自然是发射极了。（如将两只管脚倒换一下，则万用表读数将增大很多）。以上是测试NPN型管，如为PNP型管，仍按上述接法，则接正表笔的管脚为集电极。

第五节　单相整流电路

JF-3型发电机为单相交流发电机，但励磁电流必须为直流，才能产生固定极性的磁极，所以在电压调整器中采用了整流电路。整流就是利用P-N结的单向导电性，把交流转

化为单方向的直流电流。

一、单相半波整流电路

图1—26为单相半波整流电路，B为变压器，D为半导体二极管，R_Z为负载电阻，U_1为初级电压，U_2为次级电压。图1—27为单相半波整流波形。当变压器次级电压U_2在第一个正半周内（0～t_1时间内），次级的上端为正，下端为负，此时加在二极管上的是正向电压，二极管导通，有电流I_Z流过负载R_Z，在R_Z两端产生电压降U_Z。当U_2在第二个半周内（t_1～t_2时间内），次级上端为负，下端为正，加在二极管上的是反向电压，二极管不导通（截止），负载两端没有电压输出，$U_Z=0$。每个周期这样重复，在负载电阻R_Z上得到了单方向的脉动直流电。

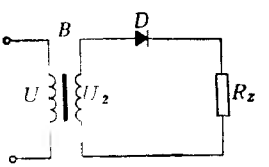


图1—26　单相半波整流电路

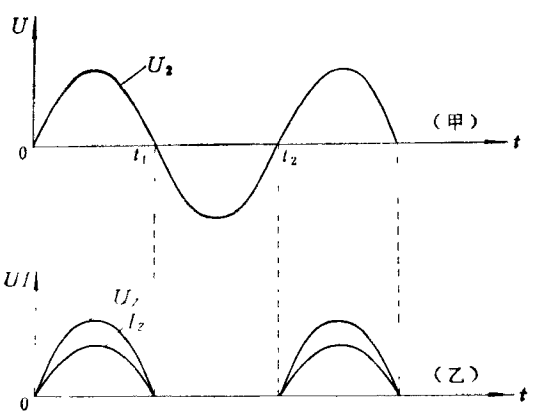


图1—27　单相半波整流波形

（甲）变压器B次级电压U_2的波形
（乙）负载R_Z上的电压U_Z和电流I_Z的波形

在负载电阻R_Z上得到的脉动电压中有直流分量，这个分量是半波电压在整个周期内的平均值。由计算可知，整流出来的直流电压U_Z和直流电流I_Z的大小为：

$$U_Z=0.45U_2, \qquad (1-12)$$

$$I_Z=\frac{U_Z}{R_Z}=\frac{0.45U_2}{R_Z}。 \qquad (1-13)$$

所以，半波整流后的电压平均值为交流有效值的45%。

二极管所承受的反向电压最大值$U_{反最大}=1.41U_2$。根据上述计算得到I_Z和$U_{反最大}$值后，即可用来选择硅二极管的参数。

二、单相桥式整流电路

由于单相半波整流电压脉动大，变压器利用率低，所以将电路改进为正、负半周都工作的整流电路是必要的。单相桥式整流电路可以达到这个目的。

单相桥式整流电路如图1—28所示。它是一种全波整流电路，其整流波形见图1—29。

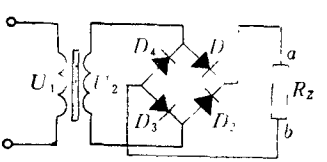


图1—28 单相桥式整流电路

当次级电压U_2处于正半周时，上端为正，下端为负，电流从上端→D_1→a→b→D_3→下端；当电压U_2处于负半周时，上端为负，下端为正，电流从下端→D_2→a→b→D_4→上端。通过负载R_Z的电流均为从a到b，a为直流输出的正极，b为负极。

整流后的直流电压平均值为半波整流的二倍。

$$U_Z=0.9U_2; \qquad (1-14)$$

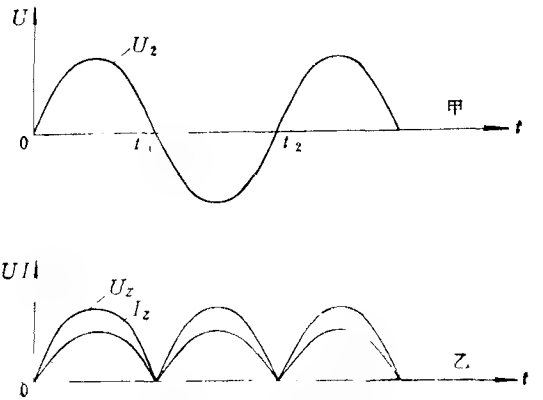


图 1 —29　单相桥式整流电压电流波形图

$$I_z=\frac{U_z}{R_z}=\frac{0.9U_2}{R_z}。\qquad(1—15)$$

同时我们看到，整流元件流过的电流为负载的平均电流的一半，即$I_D=\frac{1}{2}I_z$。

整流元件在电路里可能承受的最大反向电压为交流电压有效值的1.41倍。

三、滤　　波

半波或全波整流得到的直流电压是不平稳的。在JF-3型电压调整器中，为了改善整流后的直流电压的平稳程度，常在电阻两端并联一只电解电容器，称为电容滤波器，其滤波电路及波形见图 1 —30所示。

图 1 —30为以半波整流为例，说明电容滤波的原理。当交流电压$U_{\sim}$正半周使二极管导通时，电流分成两路，一路流经负载电阻R_z，另一路对电容器C充电。当交流电压负半周使二极管截止时，已充电的电容器C对负载R_z放电。从而

使负载R_z上的电压趋于平稳，如图1—30中右图曲线所示。

无论是半波或桥式整流，经过电容器滤波后，其直流输出的平均电压会升高，并且电容量C越大，负载R_z越大，则电容放电越慢，波形就越平坦。当负载开路时，直流电压最

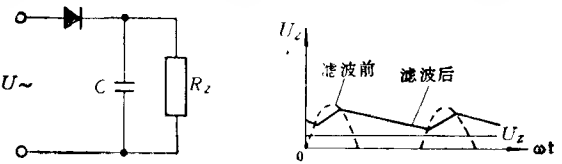


图1—30　电容滤波电路及波形

大，可达输入电压的1.41倍。

一般滤波电容器的容量在几个微法到几百微法，其耐压应大于输出电压。电解电容器的极性不可接反。

第六节　交流电的电角度和相位差

在图1—9中已经讲过，交流发电机的转子旋转经过一对磁极时，就可以产生交变电动势的一个周期的变化，我们规定交流正弦波变化一周的角度为360电角度(等于2π弧度)。因为一周内正负波各占一半，相当于经过NS一对磁极。在两极发电机中，转子必须旋转一圈，即空间角为360度才能完成一周。如在四极发电机中，转子只要旋转半圈，即空间角为180度就能完成一周（360电角度）。这就是电角度的概念。

在图1—9中是表示一个线圈在磁场中旋转的情况，如果有两个线圈(见图1—31)以相同的速度在同一的磁场中旋转，由于两线圈不在同一的空间位置，对应于磁场，它们之间相差一个电角度ϕ，因此，两线圈中交变电动势的变化并不同时到达最大值或零值，始终相差一个电角度ϕ，这个电

角度称为相位差。如果两个交变电势的相位差为零，称为同相；如果有相位差，则称为异相。

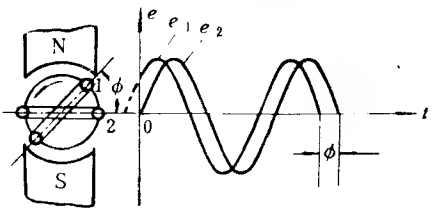


图 1—31　两个异相的感应电动势

在单相交流电路中只有一个电压存在，似乎不存在什么相位差了，可是，线路上的电压和电流之间也可能产生相位差，这是交流电路不同于直流电路的一个特点。

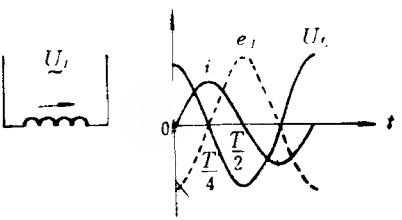


图 1—32　纯电感电路及其电压、电流曲线

在交流电路中只接入电阻负载（如照明灯泡）时，交流电压和交流电流在负载上将同时到达最大值和零值，两者之间无相位差，是同相的。

在交流电路中只接入电感负载时，情况就不同了，由于线圈的自感作用，产生自感反电势，由图 1—32可以看出，在 $t=0$ 时，如果端电压 U_L 最大，此时自感电势 e_L 也是最大，在此瞬间电流 I 等于零，到 $t=\frac{T}{4}$ 时，e_L 减小到零，但在 $0\sim\frac{T}{4}$ 这段时间内，电流的数值是逐渐在增加。也就是说，由于自感反电势（虚线所示）的存在，使电路中的电流和电压产生了相位差，电角度为90°，我们说电压比电流导前 $\frac{\pi}{2}$ 角，或称电流比电压滞后 $\frac{\pi}{2}$ 角。

在交流电路中只接入电容负载时，从图 1—33可见，当

端电压U_c最大时，由于电容器的充电作用，在$0\sim\frac{T}{4}$这段时间内，极板上的电荷逐渐增多，充电电流逐渐减小到零；从$\frac{T}{4}\sim\frac{T}{2}$这段时间内，电压值逐渐下降，而电容器则处在反向放电状态，电流值从零反方向增至最大。也就是说，由于电容的充放电特性，使电路中的电流和电压同样产生了相位差，电角度为90°，我们说电压比电流滞后$\frac{\pi}{2}$角，或称电流比电压导前$\frac{\pi}{2}$角。

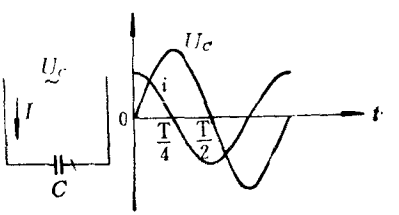


图1—33 纯电容电路及其电压、电流曲线

如果负载不是纯电感和纯电容，而是串接有电阻的话（实际上也是如此），那么，电路中电压和电流之间的相位差，就在0°～90°之间变化，这取决于电阻、电感、电容的数值。

第二章　JF-3型发电机的结构和工作原理

JF-3型发电机是小型汽轮发电机，安装在蒸汽机车上，供照明和信号用电。它分为汽轮机和发电机两部分，本章分别就汽轮机和发电机的结构和工作原理逐节加以叙述。图2－1为JF-3型发电机的外形图。

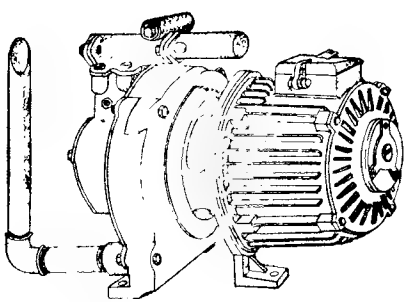


图2－1　JF-3型发电机

JF-3型发电机的技术指标列于表2－1。

表2－1

功率（千伏安）	电压（伏）	频率（赫）	相数	绝缘等级	转速（转/分）	励磁电流（安）	进汽压力（公斤/厘米²）
1.3	50/57	450	单相	B	3500	≤2.2	13～15

“JF 3”的含义为：J——机车，F——发电机，3——设计序号。

第一节　汽轮机的结构

汽轮机部分是由涡轮机盖*1*、汽室装置*2*、调速器*3*、涡轮*4*、涡轮轴套*5*、涡轮机外壳*6*和隔热风扇*7*组成，见图2－2。

涡轮机盖*1*是封闭汽轮机部分的端盖，用灰铸铁铸造而成。它有三个作用，一是安装蒸汽喷嘴，并使喷嘴和涡轮之

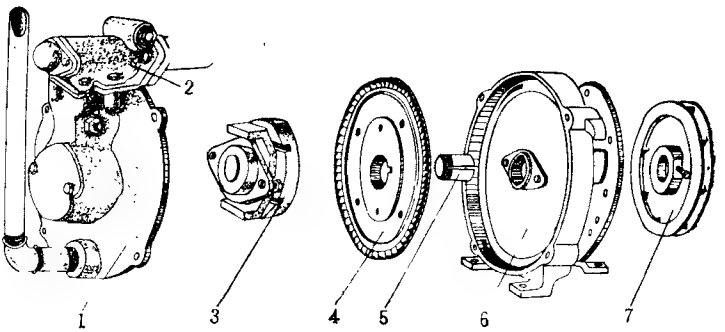


图 2 — 2　汽轮机部件图

1 —— 涡轮机盖；2 —— 汽室装置；3 —— 调速器；4 —— 涡轮；5 —— 涡轮轴套；6 —— 涡轮机外壳；7 —— 隔热风扇。

间保持一定的距离。如果这个距离太小，转动的涡轮就容易发生摩擦或被卡住，影响汽轮机的工作；这个距离如果太大，会降低蒸汽喷出的速度，从而降低汽轮机的效率。二是用来安装汽室装置，把蒸汽引入汽轮机。三是安装传动机构，这是一个杠杆装置，它把调速器的运动和汽阀的调整联系起来，使汽阀的开度受涡轮转速的控制（见图 2 — 7）。

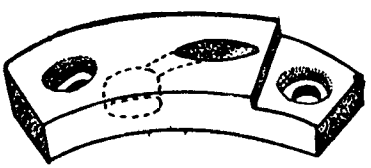


图 2 — 3　蒸汽喷嘴

装在涡轮机盖 1 上的蒸汽喷嘴，是用铸黄铜制成，如图 2 — 3 所示。

在喷嘴体上加工出 1 :20的锥孔，形成喷管，由汽室装置出汽口来的高压蒸汽，进入锥孔小端，经过喷管，由锥孔大端喷出，推动蒸汽涡轮，因为涡轮和发电机是同轴的，所以使蒸汽能转换为机械能，再由机械能转换为电能。在 JF-3 型发电机中，喷嘴孔的小端直径为6.5毫米（原JWF-1Z型

发电机的喷嘴孔，小端直径为5.2毫米）。

汽室装置装在涡轮机盖的上方，是高压蒸汽进入汽轮机的必由通道。它是由汽室体*1*、汽阀*2*、汽室套*3*、复位弹簧*4*和弹簧罩*5*组成，见图2—4。

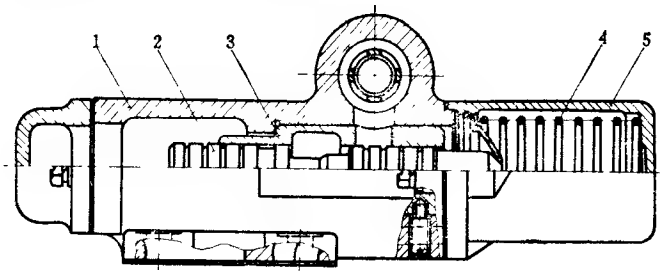


图2—4　汽室装置
1——汽室体；2　—汽阀；3——汽室套；
4——复位弹簧；5——弹簧罩。

汽室体*1*内装有汽室套*3*，汽室套由黄铜制成，压入铸铁的汽室体内，上方有带过滤网的螺堵，以防止管道的污物进入汽轮机。蒸汽由上方进汽口经过滤网，再由下方进汽口进入汽室套。汽阀*2*在汽室套内可作轴向移动，以调节出汽口的大小。弹簧罩*5*内装有复位弹簧*4*，随外力对汽阀的作用大小而压缩或伸张，以保持汽阀在汽室套内的灵活性和相对稳定状态。汽阀*2*是由不锈钢材制成，上面开有多道环形槽，对汽室起汽封作用。

调速器是由调速器体*1*、平衡块*3*、顶套*6*、调速弹簧*7*和压盖*4*等组成（见图2—5）。

调速器体*1*两内侧制成直角台阶，装有四个止销*2*，最近生产的调速器体，已改用45号钢精密铸造而成，不但因无屑加工而节省了加工工时，并且去掉了四个止销。两个平衡块

3 背面的刃部，支撑在调速器体的台阶上，顶套 6 放在两平衡块内侧，装上调速弹簧 7，用压盖 4 及螺钉 5 固定在调速器体上，与涡轮一起装在电机轴上。

蒸汽涡轮由涡轮体 1、叶片 2、压环 3 等组成，如图 2—6 所示。

涡轮体 1 是安装叶片 2 的支持体，由锻钢制成。在其圆周上车有特殊形状的槽，在轮槽内嵌放叶片 2。叶片 2 系用不锈钢材制成，每个涡轮上嵌

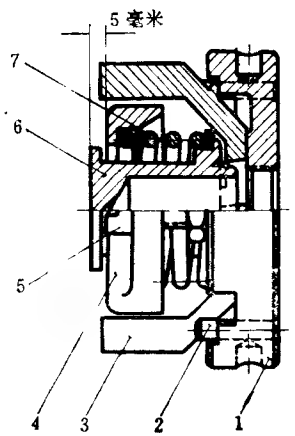


图 2—5　调速器
1 —调速器体；2 —止销；
3 —平衡块；4 —压盖；
5 —螺钉；6 —顶套；
7 —调速弹簧。

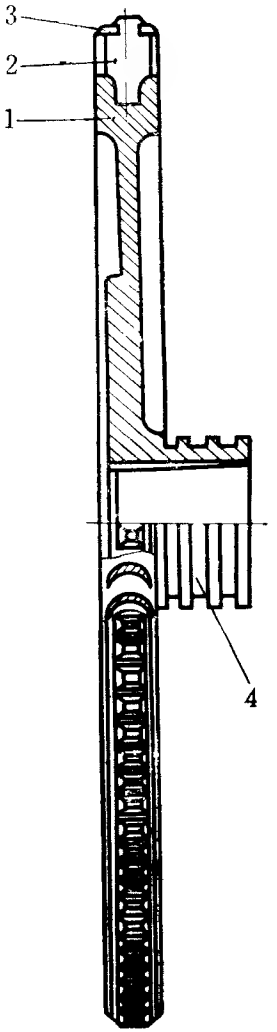


图 2　6　蒸汽涡轮
1 —涡轮体；2 —叶片；
3 —压环；4 —胀圈槽。

放110片。叶片两侧形状和轮槽内侧形状相同。嵌放时，每个叶片都用一个用普通钢板冲制的隔板间隔开，既可使叶片均匀牢固地分布在圆周上，也可作为蒸汽的通道。为防止叶片受高速离心力而松散，在叶片顶部用冲有方孔的普通钢板制成的压环*3*铆牢，形成不可拆卸的整体。在涡轮体的一侧车有三道胀圈槽*4*，用来安装三道铸铁胀圈，以便起密封作用。

涡轮轴套*5*（图2—2）系用45号钢制成的外径呈锥状的开口套，它用键连接安装在电机轴上，涡轮体中间也有一个与轴套同样锥度的孔，涡轮安装在轴套上，保证了涡轮机和发电机的同心度。

涡轮机外壳*6*是把汽轮机和发电机两部分连接起来的中间座体，用铸铁铸造而成。其一端的止口与发电机的中间体连接固紧，另一端则安装涡轮机盖。中间有一个大孔，安装一个铜衬套，以便安装蒸汽涡轮。

隔热风扇*7*装在涡轮机外壳与发电机的中间体之间，它的作用是阻隔汽轮机散发出的热量传到发电机部分，以免使发电机温升过高。隔热风扇为钢板焊接结构，中间有轴套，压装在电机轴上，用紧定螺钉固紧。

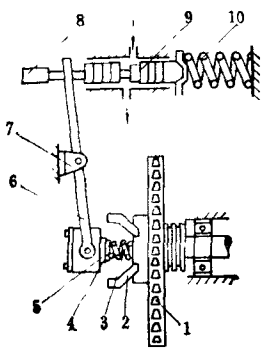
第二节　汽轮机的工作原理

汽轮机是发电机的动力部分，它把蒸汽能转换成机械能，再将机械能传给发电机而转换成电能。汽轮机和发电机采用同轴连接。为保证发电机能输出额定的电功率，必须有足够的蒸汽压力。在JF-3型发电机中，要维持发电机输出功率为1.3千伏安，汽轮机的进汽压力必须保持在13～15公斤/厘米^{2}范围内。如果低于这个范围，将使输出功率下降，此时应减少外接负载。如在满载的情况下降低进汽压力，将使转速显著下降，不仅灯光不亮，而且容易烧损电机和调压器的

零件。

当高压蒸汽进入汽室装置，经汽阀和蒸汽喷嘴向涡轮叶片高速喷射时，吹动涡轮旋转，穿过叶片空间的蒸汽进入涡轮机外壳上的反向室，经反向室形成二次喷射，以充分利用蒸汽的热能。蒸汽经二次喷射后变成废汽，由排汽管排出。在涡轮体上开有四个大孔，废汽经过透孔，使涡轮两侧的压力得到均衡。

汽轮机的转速直接影响着发电机的电压。JF-3型发电机的额定转速为3500转/分。实际运行中，允许在3250～3550转/分范围内变动。满载时，如果转速低于额定转速太多，电机将达不到额定电压，使灯光昏暗不明；如果超过额定转速太多，将使电机电压超过额定值，会使灯泡和电机零件烧损。为了使发电机在空载到满载的任何工况下，其转速能稳定在规定的范围内，在汽轮机轴上装有自动调速装置，其示意图如图 2 — 7 所示。



1 —— 涡轮；
2 —— 平衡块；
3 —— 调速弹簧；
4 —— 顶套；
5 —— 石墨垫；
6 —— 传动杆；
7 —— 支点；
8 —— 调整螺丝；
9 —— 汽阀；
10 —— 复位弹簧。

图 2 — 7　自动调速装置结构示意图

涡轮 *1* 受蒸汽推动而旋转时，平衡块 *2* 随主轴一起转动。在转速未超过规定转速时，由于弹簧 *3* 的压力作用，离心力不足以使平衡块动作。当涡轮转速超过规定转速时，平

衡块上所受的离心力大于弹簧的压力，此时，平衡块以其刃部为支点向外张开，平衡块的内端推动顶套4沿轴向外移动，同时使弹簧3压缩。顶套的前端面与传动杆6下端的石墨垫5相接触，由于顶套的左移，便推动向左摆动，从而使传动杆的上端以支点7为轴心向右摆动，传动杆上端装有可以调节的调整螺钉8，这时一起向右推动汽阀9右移，并使复位弹簧10压缩。汽阀的开始安装位置是供汽量最大的位置，可用调整螺钉8调整其开度。由于汽阀的右移，将汽口开度缩小，供汽量减小，涡轮转速逐下降。当涡轮转速低于规定转速时，离心力小于调速弹簧张力，弹簧伸张，推动顶套右移，平衡块合拢。由于传动杆下端失去推力，复位弹簧伸张，推动汽阀左移，使汽口开度又逐渐增大，供汽量增大，使转速再回升到规定范围，这就达到了自动调节涡轮机转速的目的。

第三节　发电机的结构

一、JF-3型发电机的特点

JF-3型发电机不同于原来的JWF-1Z型发电机，它有以下的特点：

1．此电机为交流发电机，输出功率1.3千伏安，当转速为3250～3550转/分时，电压为50±3伏。

2．电机转子上没有导线，消除了转子绕组因离心短路造成的不发电现象。

3．没有滑环装置，电流直接从定子上引出，不象一般发电机那样经过电刷引出电流，所以叫无触点发电机。由于无接触导电部分，防止了因火花烧蚀或脏物积垢造成的接触不良事故。

4. 由于消除了更换电刷和清擦换向器等工作，使电机的维护工作大为简化。

5. 由于用铜量比JWF-1Z型发电机减少了$\frac{2}{3}$，节约了有色金属。

6. 由于体积减小及采用了铝合金外壳及前端盖等，使重量减轻了1/2，便于装卸。

二、发电机的结构

发电机是由中间体 *2*、定子绕组 *4*、爪状磁极转子 *5*、励磁绕组 *6*、轴承内套 *7* 和前端盖 *8* 等主要部件构成，分解后的零、部件见图 2—8。

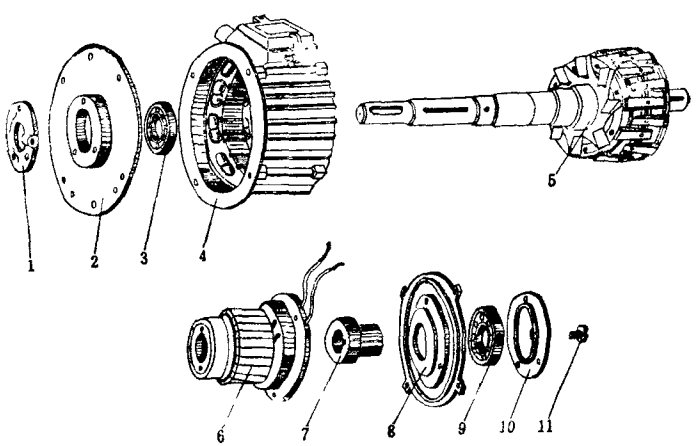


图2—8 发电机部件图

1 —中间轴承外盖；2 — 中间体；3 —中间轴承；4 ——定子绕组及发电机外壳；5 — 爪状磁极转子；6 ——励磁绕组及固定极芯；7 ——轴承内套；8 — 前端盖；9 ···前轴承；10——前轴承外盖；11——螺堵。

中间体为连接发电机与汽轮机的一个轮盘类零件，由灰铸铁制成，中心有大孔，放置发电机一端的轴承，有内、外轴承盖，将轴承封闭，防止灰尘侵入。中间体的外圆周，既与涡轮机外壳配合，又与发电机外壳配合，保证了发电机和汽轮机的同心度。

定子铁芯是用D31型电工钢片叠装而成，铁芯厚度46^{+1}毫米，外径167毫米，内径125毫米，冲有16个半闭口槽。定子绕组嵌放在半闭口槽中，定子绕组（它相当于直流电机的电枢线圈）由8个线圈组成，每个线圈是用QZ-1型0.8毫米高强度漆包线7根并绕17匝，线圈内周尺寸为64×25毫米，厚8毫米。8个线圈相互依次串接，每个定子槽中嵌放一个线圈边，用槽楔压紧，并用截面为4毫米^{2}的丁睛橡胶线引至接线盒处，接在第*1*、*3*两个端子上。

爪状磁极是用10号钢精密铸造而成。呈圆形爪状，靠涡轮侧为后爪极，靠前端盖侧为前爪极。每个爪极上都有大小相同、距离相等的8个爪，前后爪极上的爪相互交错并相对，爪间有一定的距离隔开。前后爪极用螺钉固定在内侧的铜环上，成为一个不可拆卸的整体。后爪极通过键压装在主轴上，随主轴一起转动。发电机的主轴和汽轮机的涡轮共用，保证了同心度。

励磁绕组是用QZ-1型0.93毫米高强度漆包线绕制，匝数为740匝，在20°C时的电阻值为4.3Ω±5%。用7/0.37绝缘橡胶线引至接线盒处，接于第*4*、*5*两个端子。绕好的励磁绕组包扎后，外径不应大于94毫米，内径不应小于56.5毫米，总高度(包括引线)不应超出53毫米。励磁绕组安装在固定极芯上，并用极芯压盖压紧。应当注意，极芯压盖不仅是用来压紧线圈，更重要的是为了导磁。极芯压盖的内侧面和固定极芯的顶面必须紧密贴合，不能有间隙，否则，会使

电机的励磁电流升高。

轴承内套的外径与前轴承孔配合，内径则与主轴动配合，并有键连接，这是因为固定极芯装在前端盖上，为了检修励磁绕组需要经常取下前端盖，由于轴承内套与轴采取动配合，就避免了经常拆卸轴承。

前端盖是支承电机前轴承的零件，中间大孔内压装轴承。1978年以前生产的前端盖，在大孔内压有铜质轴承外套，不仅能够增强前端盖的强度，而且还可起到密封轴承和保证与固定极芯的定心作用。1978年下半年又进一步改进，在前端盖轴承孔处浇铸有铸铁套，不仅提高端盖强度，并可使轴承便于拆装修理。为了适应这一改进结构，原来的铜轴承外套取消了，固定极芯的后部，内止口改为外止口，并车有油毡槽。

在修理工作中，可能遇到新的固定极芯和原来带轴承外套的前端盖需要配装的问题。处理方法是将轴承外套压出，在前端盖内另压装一个钢套（外径为80毫米，内径为72毫米），与前端盖车平，就可以与带外止口的新固定极芯装用了。压下的轴承外套不要扔掉，要保存起来，以便在检修中与原来带内止口的固定极芯配套使用。也可把铜套与前端盖两端车平，内孔车通，直接装用新固定极芯。

JF-3型发电机的发电机外壳和前端盖的材质采用了铸铝结构，这是因为铝的导磁系数很低，不易导磁，用以防止纵轴磁场因漏磁而短路。

第四节　发电机的工作原理

一、发电机的磁路

JF-3型发电机的磁路，与JWF-1Z型发电机不同。在

JWF-1Z型涡轮发电机中，磁极的磁力线与电机轴成垂直方向，穿过电枢和空气隙，经机体而成闭合回路。我们称它为横轴磁场。在JF-3型发电机中，励磁绕组通入直流电后，磁力线将沿主轴方向经爪状磁极和定子铁心成闭合磁路，我们称它为纵轴磁场。

图2—9为此电机的磁路示意图，图中虚线表示励磁绕组通入直流电后，磁力线的闭合回路。此图只表现出一个剖面，实际上是沿圆周均匀分布的。

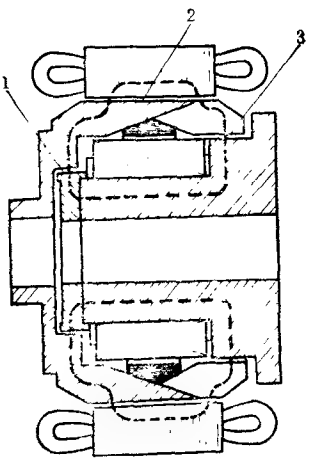


图2—9　电机磁路示意图
1——极芯压盖与后爪极形成的间隙；
2——转子和定子形成的间隙；
3——固定极芯与前爪极形成的间隙。

根据右手定则可知，当给励磁绕组中通入直流电流后，绕组两端将呈现南北磁极的性质。此时，设极芯压盖为北极，固定极芯后端为南极，主磁通穿过后爪间隙*1*（0.4毫米）进入后爪极，假定此时8对爪极分别和定子铁芯的16个齿相对，磁通穿过定子与转子的间隙*2*（0.4毫米）进入一个定子齿，此时8个后极爪均呈现北极极性。由于磁通在磁路内总是循磁阻最小的路径通过，所以进入定子齿的磁通，将从相邻定子齿穿过间隙*2*进入前极爪，使前极爪感应呈现南极极性。磁通由前极爪再穿过前爪间隙*3*（0.4毫米）回到固定极芯，完成闭合磁路。

由于前爪极和后爪极的各8个爪互相交叉排列，也就是南北极性交叉排列，形成了沿圆周均布的8对磁极。当主轴旋转时，磁极沿定子内圆周旋转，磁通和定子绕组产生相对

运动，磁通被导线切割，在导线中感应出交流电压。由于定子绕组互相串连，8个绕组感应电压的和，就是发电机的端电压。

二、定子绕组上的磁通变化

现在我们分析一下，当发电机工作时，定子绕组上的磁通变化。图2—10是定子绕组分布图。它表明了定子绕组和爪状磁极的对应关系。转子旋转时，不同极性的磁极，交替地通过绕组各边，嵌放在定子槽中的线圈有效边，有时和北极对应，有时和两极间的空间相对应，有时又和南极相对应。因此，对某一线圈有效边来说，主磁通是不断变化的，即量值时大时小，极性时南时北，当转子转过两个齿距时，磁通的大小经历一个周期的变化，相当于两极电机的转子旋转了一周。在导线中感应出频率为一周的感应电势。由于磁极的爪状，可以使定子绕组中感应的交流电动势近似于正弦波形。

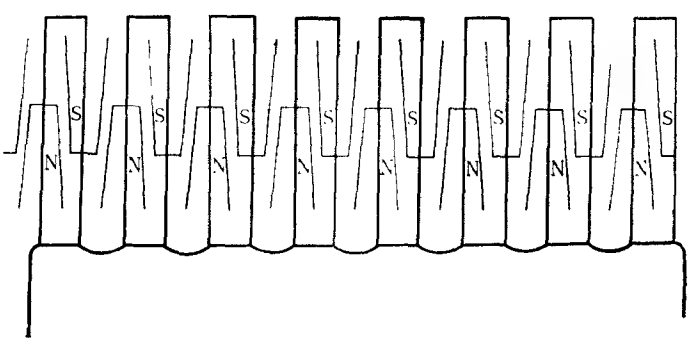


图2—10　定子绕组分布图

三、一个定子线圈上感应电势的建立

为了更好地理解定子绕组中交流感应电动势的建立过程，我们取一个线圈来加以研究。假定这个线圈只有一匝，理解了一匝线圈中感应电动势产生的原理，那么，多个绕组的串联，只是电动势量值的增大而已。在图 2 —11中表明了一个线圈上感应电动势的建立过程。

首先假定爪状磁极是在线圈的下面，并已展开成平面；再假定线圈不动，磁极转子向左旋转。根据相对运动的概念，线圈不动，磁极向左移，相当于磁极不动，线圈向右移。根据右手定则来判断线圈 AB 两边中电势的方向，如图中箭头所示。下面分 5 个位置加以说明。

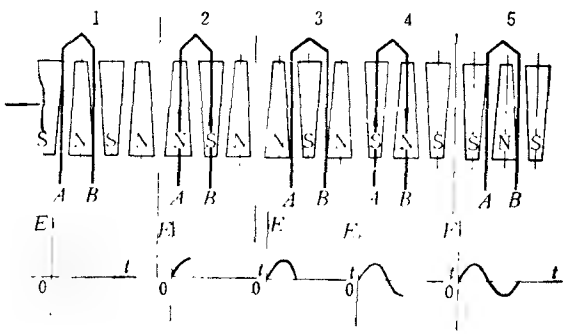


图 2 —11　一个线圈上感应电势的产生

1．当在某一瞬间，线圈处于相邻爪极的空间，此时导线不切割磁通，感应电动势为零。

2．当磁极继续向左旋转时，导线中感应电动势逐渐增大。当导线处于 N 极和 S 极的中心时，AB 两边中的感应电动势达到最大值，线圈中电动势等于两边感应电动势的和。如果线圈两端接有电流表，将有电流由 B 流向 A。

3．随着磁极的左移，感应电动势逐渐下降，当线圈又处于相邻爪极的空间时，线圈中感应电动势又降到零。

4. 磁极继续向左旋转时，磁极极性发生了变化。方才是N极接近A边，S极接近B边；现在是S极接近A边，N极接近B边。线圈中电流将反向。待导线处于S极和N极中心时，AB两边中反方向感应电动势又达到最大值。

5. 磁极继续左移，待AB边再处于相邻爪极的空间时，其中感应电动势再降到零，完成了一周的波形变化。

依此类推，不难知道，如果转子每秒钟在空间旋转一周，则线圈中感应电动势的频率将为8周/秒，即

$$f = 8 \text{ 赫芝}。$$

四、定子绕组中感应电动势的频率

JF-3型发电机是单相交流同步发电机。所谓同步，是指转子的转速(或旋转磁场的速度)和定子绕组中产生的感应电动势的频率，有一定的比例关系。其频率是：

$$f = \frac{pn}{60}, \qquad (2-1)$$

式中 p——发电机磁极对数；

n——发电机转速，转/分。

现在已知$p = 8$；

$n = 3250 \sim 3550$ 转/分；

所以定子绕组中感应电动势的频率为

$$f = \frac{8 \times (3250 \sim 3550)}{60} \approx 430 \sim 470 \text{ 赫}。$$

由上式可知，频率只与电机转速和磁极对数成正比，而与定子绕组和励磁绕组的匝数无关。当电机结构已经定型，发电机磁极对数p就成为一个固定不变的常数，这时，频率f将随发电机转速n的变化而变化。在有感抗的交流电路中，感抗与频率成正比。例如在调压器中使用的变压器，都具有

一定的感抗，在设计这些变压器时，都是按照频率为450赫设计的，如果在电机工作时降低汽压，使电机转速降至额定转速以下，频率就会降低，结果使变压器的感抗下降，而使通过变压器的电流增大，可能使变压器和励磁绕组烧损，这一点应引起注意。所以，当机车停车压火时，为了检修仍需要一部分照明，要求汽压保持在8公斤/厘米^{2}以上，头灯开关应该断开，调压器面板上的开关应扳在“断”位。

五、工作中影响电机电压的因素

发电机在工作中，随转速、气隙、励磁电流和负载电流的变化，而使电压发生变化，了解这些变化因素对电机电压的影响关系，对分析故障有一定的帮助。

1. 气隙

JF-3型发电机为了消除导电接触部分，比一般电机增加了两个间隙，即定转子间隙、前爪间隙和后爪间隙，每个间隙都是0.4毫米。空气的导磁系数μ很低，所以磁路的磁阻就会增大，使气隙处的磁通密度下降。在发电机中，感应电动势和磁通及转速的乘积成正比，可用下式表达：

$$E=C_e\varphi n, \qquad (2-2)$$

式中 E——感应电动势(伏)；

φ——磁通 (马)；

n——电机转速 (转/分)；

C_e——电磁变换常数；

而磁通密度 $$B=\frac{\varphi}{S}, \qquad (2-3)$$

式中 B——磁通密度 (高)；

S——磁通经由磁路的截面积(厘米^2)。

磁通密度的下降，使感应电势随之下降。在电机设计

时，气隙的大小已经决定，应该是一个定值，但是由于制造工艺精度的误差和工作中轴承的磨耗，会使间隙发生变化，特别是检修中发现轻微扫膛，有时会精车转子外圆或定子内孔，有的精车固定极芯及极芯压盖外圆，所有这些措施，都导致气隙的扩大，而影响电压下降。如果气隙过大，端电压降的很多，若要维持磁通密度不变，只有提高励磁电流，结果会使励磁绕组烧损和电机效率下降。因此，在用扩大气隙处理扫膛故障时，任一气隙值都不应大于0.5毫米，否则应更换新的零部件。

2. 转速

由(2—2)式可知，感应电势和转速成正比。发电机的转速就是汽轮机的转速，发电机在任意工况下的转速稳定与否，决定于汽轮机自动调速装置的可靠性，同时也决定于蒸汽压力值的保证与否。在汽轮机调速装置失灵或进汽压力降低时，会使电机转速下降，引致端电压下降。

汽轮机和发电机是有机的整体，故发电机装车前，如果仅用电动机带动发电机进行与电压调整器的配套试验是不够的，应在蒸汽试验台上配合汽轮机进行试验，或装车后在车上进行调试，方能保证运行的可靠性。至于用5公斤/厘米^{2}的风压试验，则根本不能知道电机的满载工作特性。

3. 励磁电流

由(2—2)和(2—3)式中已知，电机感应电势与磁通密度B成正比。根据磁路欧姆定律，存在着下列关系式：

$$I_B W = \varphi \frac{l}{\mu S}, \qquad (2-4)$$

式中 $I_f W$——产生磁通的磁势（安匝）；

$\frac{l}{\mu S}$——磁路的磁阻；

$I_{励}$ ——励磁电流　　（安）；

W ——励磁绕组的匝数（匝）；

l ——磁路的长度（厘米）；

μ ——铁磁物质的导磁系数。

把（2—3）式中的$\Phi = BS$代入（2—4）式，得

$$B = \mu \frac{I_{励} W}{l}。\qquad (2-5)$$

由上式可知，当电机结构已经定型，则μ、W和l均为定值，磁通密度就和励磁电流成正比。增大励磁电流则使端电压升高，减小励磁电流则使端电压下降。但事物总是一分为二的，励磁电流不能无限制地增大，超过一定限度会使励磁绕组烧坏和使磁路饱和。所以规定电机正常工作时，励磁电流最大不超过2.3安就是这个道理（起动负载的瞬间例外）。电压调整器的作用，也就是自动调节励磁电流，以维持电机端电压的恒定。

4. 负载电流

当发电机的定子绕组中有负载电流通过时，根据右手螺旋定则，在绕组中将产生磁通，这个磁通会使主磁通削弱；另外，绕组通过电流时，由于绕组电阻的存在，还会引起电压降。因此，负载电流的变化会使发电机的电压发生变化。根据电机的额定功率和额定电压，可以求出额定负载电流。负载电流过大，会使绕组发热和绝缘烧毁，因此，严禁超载使用。

在实际运行中，容易遇到的一个问题是机车电路和机车车体接触而短路，造成负载电流过大而烧坏电机。因此，应经常测试电路对车体的绝缘程度，对破皮的电线须包扎绝缘，维护电路经常处于良好状态。

第三章　JF-3型电压调整器的结构和工作原理

第一节　电压调整器的结构

JF-3型电压调整器，系由相复励变压器 *1*、滤波电容器 *2*、保险丝盒 *3*、面板 *4*、开关 *5*、印刷电路部件 *6*、电位器 *7*、硅整流元件 *8*、接线板 *9* 和中框 *10* 等组成。图 3 — 1 为面板打开后的内部零件图，图 3 — 2 为面板正面图。

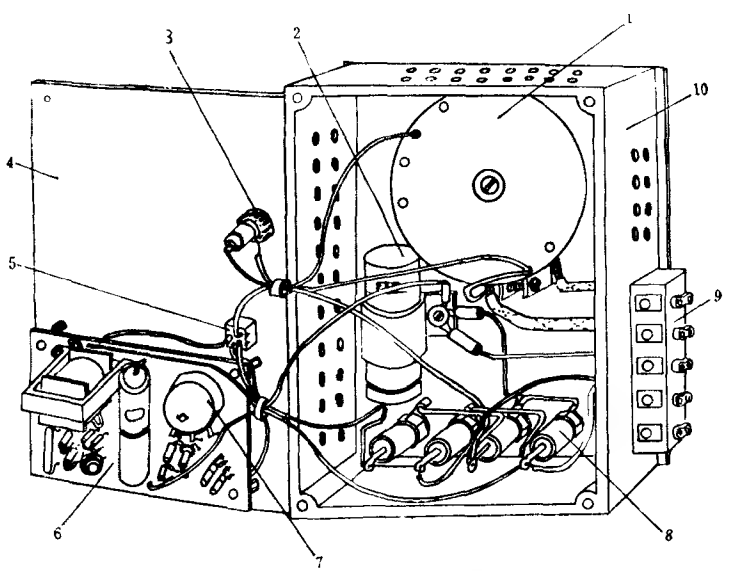


图 3 — 1　电压调整器内部结构图

1 —— 相复励变压器；2 —— 电容器；3 —— 保险丝盒；4 —— 面板；5 —— 开关；6 —— 印刷电路部件；7 —— 电位器；8 —— 硅整流元件；9 —— 接线板；10 —— 中框。

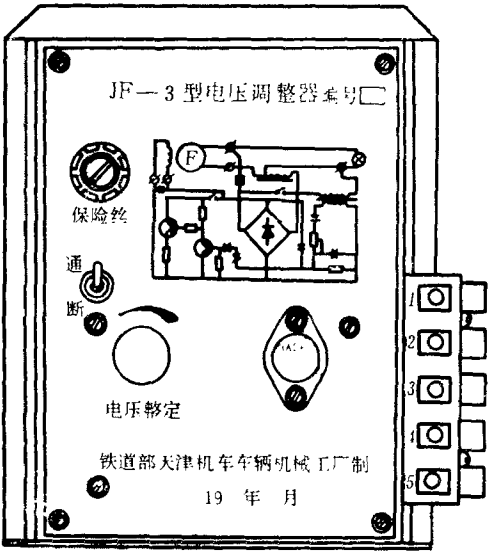


图 3—2 电压调整器面板正面图

在中框*10*的底部装有一块玻璃布板，在板的上部装着相复励变压器*1*，在板的中部左侧固定着滤波电解电容器*2*，下部安装着四个硅整流二极管*8*，在中框的外边安装着接线板*9*，此接线板已在内部和电压调整器线路接好，留有五个接线孔，以便与电机连接。在面板*1*的内侧装有印刷电路部件*6*，电压校正器的零件均装在这块印刷电路板上。在这块电路板上装着电压整定电位器*7*，通过面板*4*上的通孔，可以从面板正面进行调整，调整完毕，应将有机玻璃罩拧好，以防灰尘侵入。在印刷电路板的上方面板上装着开关*5*和保险丝盒*3*，在面板正面的右侧安装着 3AD6C 大功率三极管，铝质面板兼作它的散热器。

相复励变压器是电压调整器的主要零件，其结构图如图 3—3 所示。它的中间是一个C 形 铁芯*1*，它是由厚 0.35

毫米、宽30毫米的冷轧硅钢片带料卷绕而成，外径62毫米，内径38毫米，截面积3厘米^2，绕好后按严格的工艺进行退火处理，然后进行切口，外面套上铁芯卡子*2*，铁芯卡子为黄铜板制成，它是不导磁体，不致造成磁短路。拧紧卡子上的螺钉，可以使铁芯开口闭合。在铁芯上包好绝缘*3*，开始缠绕电压绕组*4*，共计两层，具体数据参看图3—4。在电压

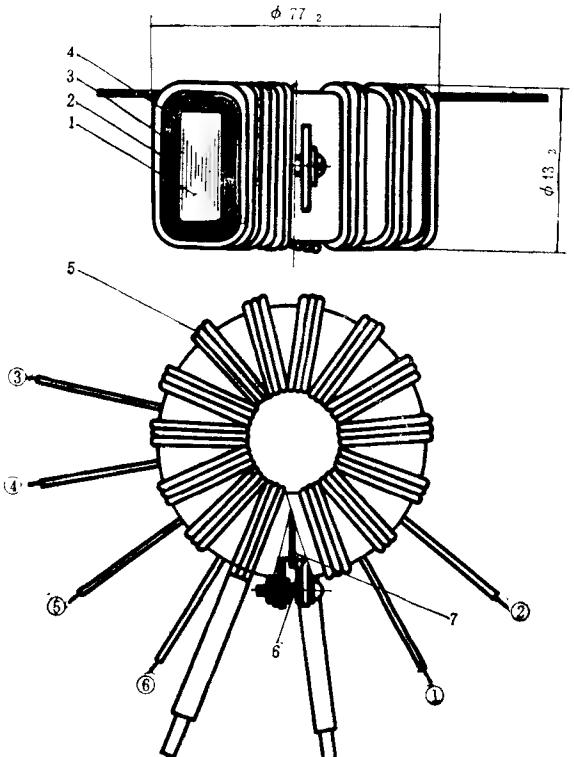


图3　3　相复励变压器

1——铁芯；2——铁芯卡子；3——铁芯绝缘；4——电压绕组；5——电流绕组；6——调整螺钉（M4×25）；7——气隙垫（0.3～0.4牛皮纸）。

绕组的外面绕有电流绕组5，由于负载电流全部由此绕组通过，电流较大，故用三根直径为1.56毫米的漆包线并绕14匝，电流绕组的尾与电压绕组的头相接（见图3—4）。

其他电路元件的型号和规格可查附录二。

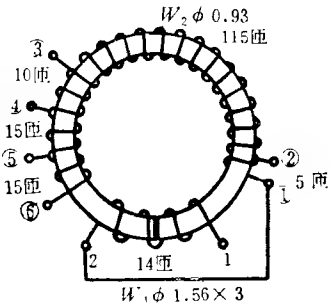


图3—4　相复励变压器绕线图

第二节　电压调整器的工作原理

JF-3型发电机采用相复励式调压，并加装晶体管电压校正器，以提高其调压精度。根据第二章介绍的发电机原理可知，磁场和电枢绕组作相对运动，使导线切割磁力线时，导线中将产生感应电动势，即

$$E = C_e \varphi n,$$

式中　E——感应电动势；

C_e——电磁变换常数；

φ——磁通；

n——电机转速。

对于一台已经制成的电机来说，电磁变换常数C_e是一定的，从上式可见，能够影响感应电动势大小的因素就是磁通φ和转速n。由汽轮机工作原理已知，汽轮机调速装置能够使汽轮机转速在一个较小的范围内变化。所以要改变发电机的电压，主要是改变磁通的大小。而电机磁通的大小取决于励磁电流的大小，电压调整器就是通过改变励磁电流的大小以自动控制发电机电压的装置。

为了便于了解JF-3型电压调整器（以下简称调压器）的工作原理，我们先从大家比较熟悉的直流发电机的励磁谈起。

一、直流发电机的励磁

现在蒸汽机车仍在使用的JWF-1Z型发电机是一种复励直流发电机。图3－5是它的原理接线图。

在电机的两个磁极上装有电压线圈和电流线圈。电压线圈与发电机的输出端子并联，所以电压线圈两端的电压为直流50伏。在线圈中流过电流的大小，由线圈的直流电阻来决定，这个电流叫做直流发电机的并励电流，它产生的磁场方向如图3－5所示。左面是N极，右面是S极。旋转着的电枢线圈切割磁力线就感应出电压来，这个电压就是发电机的空载电压。通过碳刷，一端与电流线圈串联后接到一个出线端子，另一端由碳刷直接接到另一个出线端子。假定此时并未接负载，所以电流线圈中没有电流，这时磁场的磁通，完全由电压线圈所产生。

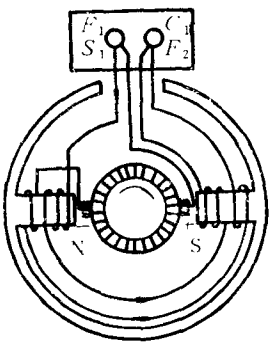


图3－5　JWF－1Z型发电机原理接线图

当我们在输出端子上接上负载以后，负载电流流经电流线圈，在电流线圈中也会产生磁场。由于电流线圈和电压线圈同装在一个磁极上，通过适当的接线，可以使它们产生的磁场方向一致，磁通相加，以补偿由于加负载所造成的电压降。适当改变电流线圈的匝数，就可以使电流线圈提高的电压正好等于因负载电流而降低的电压，结果使发电机端电压保持恒定，这就是直流发电机的调压原理。由于在并励线圈上又加上了串励线圈（即电流线圈），所以叫做复励。

二、什么叫相复励

相复励是相位复式励磁方式的简称。从上面讲到的直流发电机的励磁方式，我们知道所谓复励，就是发电机的励磁电流是由两个分量合成的，一个是与发电机端电压成比例的空载励磁分量（也叫电压励磁分量），也就是电压线圈中的电流；另一个是与负载电流成比例的电流励磁分量，也就是电流线圈中的电流。但是在交流发电机中，仅有这两个分量是不能满足励磁要求的。为什么呢？因为交流同步发电机带上负载后，它的励磁电流的增大数值，不仅与发电机负载电流的大小有关，而且还和负载电流与发电机端电压间的相位有关。由第一章第六节中我们知道，如果负载接的是电感性负载，那么，负载电流将较发电机端电压滞后一定的电角度。在纯电阻性负载时，发电机的电枢反应去磁作用小，保持发电机电压稳定所需的励磁电流也小；在纯电感性负载时，发电机的电枢反应去磁作用较大，产生端电压的降落也大，所以相应地要求励磁电流也要大。这在简单的复式励磁方式就做不到了，而相复励调压方式，除具有复励作用外，还具有相位补偿作用，也就是说，当发电机接上纯电阻性负载时，励磁电流较小。当发电机接上纯电感性负载时，励磁电流最大。当负载为介于两者间的电阻电感性负载时，励磁电流也介于上述两者之间。所以把这种既具有复励作用，又具有相位补偿作用的调压方式，叫做相复励调压方式。

三、JF-3型电压调整器的相复励调压系统

JF-3型电压调整器由相复励调压系统和电压校正器两部分组成，现在我们先对相复励调压系统进行分析。相复励调压部分的电路如图3—6所示。

图中F代表JF-3型发电机的定子绕组。Q代表发电机内的励磁线圈。W_1代表相复励变压器的电流绕组。W_2代表相复励变压器的电压绕组，并有中间抽头。图上表示W_1和W_2同绕在一个铁芯上。ZL是单相桥式整流电路的简化符号。C为与励磁线圈并联的滤波电容器。L代表准备接到发电机上的负载。下面我们分析相复励调压系统是怎样产生复励作用的，又是怎样根据负载的性质进行相位补偿的。

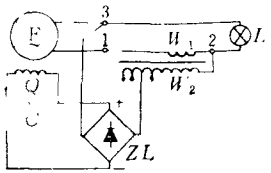


图3—6　相复励调压部分的电路

当发电机处于空载情况时，负载L还没有接上，发电机两端产生交流电压。直流励磁电流是经过串联起来的W_1和W_2和桥式整流器供给的。由于变压器铁芯是开口的，形成一个线性电抗器，调整铁芯开口的大小和改变W_2的抽头，就可以改变电抗值的大小。根据欧姆定律，

$$I_{\sim}=\frac{U_{\sim}}{X_L},$$

电路中电流的大小取决于电抗值的大小，如果调整适当，可使励磁线圈中的电流正好等于发电机空载时所需的励磁电流，这个电流就是与发电机端电压成比例的空载励磁分量I_{Bu}，它使发电机稳定在空载时的额定电压值。

当发电机带上负载时，相复励变压器中将有三部分电流流过：一个是流过W_2的空载励磁分量I_{Bu}；一个是流过W_1的负载电流I_1；由于W_1和W_2形成绕在一个铁芯上的电流互感器，交流负载电流I_1将使W_2中因互感作用增加了第三部分电流，这个电流就是与负载电流成比例的电流励磁分量I_{B1}。根据公式（1—10），

$$I_2 \approx \frac{W_1}{W_2} I_1 。$$

由上式可知，改变W_1与W_2的匝数比，就可以改变电流I_2的大小。式中的I_2就是$I_{B\sim}$和$I_{B=}$两个电流分量合成以后的励磁电流的交流有效值，根据公式（1—15）可知，此时流过励磁线圈的电流I_B将为：

$$I_B = 0.9 I_2 。$$

电流I_B正是在满载情况下维持发电机端电压稳定在额定值所需要的励磁电流，这就完成了相复励变压器对发电机的复励作用。

现在进一步分析相复励调压系统是怎样根据负载性质进行相位补偿的。前面已经讲过，发电机的空载励磁分量$I_{B\sim}$是通过线性电抗器W_2，再经过整流而得到的。由第一章第六节可知，当交流电路中接入电感元件，将使电路中的电流滞后于线路端电压一个电角度，也就是说线性电抗器可以起到移相作用。它使空载励磁分量$I_{B\sim}$与发电机端电压$U_\sim$相位差近似滞后90°。当发电机接上纯电阻性负载时，负载电流与发电机端电压同相，此时，电流励磁分量$I_{B=}$也与发电机端电压同相，但是$I_{B=}$却和$I_{B\sim}$相位差90°，因此励磁电流I_B为$I_{B=}$和$I_{B\sim}$的向量和，此值为最小；当发电机接上纯电感性负载时，负载电流与发电机端电压$U_\sim$之间的相位差为90°，此时，电流励磁分量$I_{B=}$也与发电机端电压相位差90°，但是$I_{B=}$却和$I_{B\sim}$同相，相位差为零。因此励磁电流I_B为$I_{B=}$和$I_{B\sim}$的代数和，此值为最大。这样正好补偿了因感性负载去磁作用大而降低了的电压。

由以上分析可知，JF-3型发电机的励磁和直流发电机的励磁不同之点，就在于直流发电机的复励是直接在发电机内靠磁通的叠加而复合的。JF-3型发电机则是依靠电磁感

应原理在电压调整器内复合再输给发电机励磁线圈的，这仅仅是合成方法的不同，而效果是一样的。

下面我们再进一步对电压调整器的调压特性进行分析。图3－7是JF-3型发电机的相复励特性曲线。

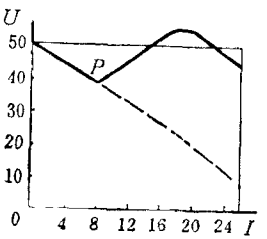


图3－7　JF-3型发电机相复励特性

在发电机未加负载时，在励磁线圈中流过的电流I_{Bu}是经过整流后的电流，它等于W_2中交流有效值I_2的0.9倍，即　$I_2=\frac{1}{0.9}I_{Bu}=1.11I_{Bu}$（见公式1—15）。

当给发电机由小到大逐渐增加负载时，就会出现两种情况。在$I_1W_1<1.11I_{Bu}W_2$时，I_1通过互感作用产生的电流$I_2<1.11I_{Bu}$，这时没有复励作用。随着负载电流的增加，发电机的端电压起初呈下降特性，如图中P点以前的一段。在$I_1W_1>1.11I_{Bu}W_2$时，I_1通过互感作用产生的电流$I_2>1.11I_{Bu}$，励磁电流便随之上升，开始发生复励作用，发电机电压也开始上升。当负载加到满载附近时，由于相复励变压器铁芯和发电机磁路趋于饱和，发电机端电压又开始呈下垂特性，如图中P点以后的一段。在$I_1W_1=1.11I_{Bu}W_2$的附近，出现了一个电压最低点P，这一点称为“槛点”。在70%～80%负载时出现电压最高点。所以从曲线上来看，相复励调压系统的外特性是不太平直的，这是这种调压系统的固有特性。它的调压精度完全取决于相复励变压器输出电流变化与发电机所要求的励磁电流变化的一致程度。由于制造工艺、装配工艺、材料成分等的变化，使这两者不能完全吻合，就会产生电压偏差。简单相复励调压系统的调压率可达

±5%，～±10%，为提高调压精度，在JF-3型电压调整器中，增添了晶体管电压校正器。

四、JF-3型电压调整器中的电压校正器

为了提高调压精度，改善发电机与电压调整器的互换性，在相复励调压系统中增加了电压校正器，它的作用就是把忽高忽低的波动电压校正得平稳一些。为了便于理解，先看一下图3－8。

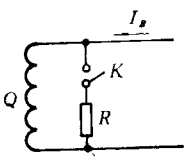


图3－8　励磁线圈分流示意图

在图3－8中，Q为发电机的励磁线圈，R为电阻，K为开关。当发电机运行中，由于相复励调压系统的调压作用，励磁电流I_B将流经线圈Q，使发电机端电压维持额定值。当发电机的转速升高而使发电机电压升高时，励磁电流I_B将增大，I_B增大将引起端电压升高。为了不使I_B超过它需要的值，我们把开关K合上，这时电阻R和励磁线圈并联，起到分流作用，使增多的电流流经电阻R，保持线圈Q中的电流不致升高。当电压下降时，I_B将减小，当小到一定程度时，励磁线圈Q中的电流即不足以维持发电机的端电压，此时立刻把开关K打开，让电流全部经过线圈Q，发电机端电压又可以得到维持。但是在发电机运行中，靠人去接通和断开开关K是办不到的，于是我们就用晶体管电压校正器来自动地完成这个任务。电压校正器包括电压测量和直流放大两部分。图3－9是电压校正器的原理电路图。

电压测量部分由测量变压器B_2、半导体二极管Z_1、电位器R_1、电容器C_1、电阻R_2、稳压管CW和半导体二极管Z_2组成。发电机的端电压加在测量变压器B_2的初级线圈上，B_2是一个降压变压器，次级线圈降压后，经二极管Z_1

进行半波整流，整流后的脉动直流经电阻R_1和R_2构成回路。R_1和R_2构成一个分压器，改变R_1就可以改变R_2两端的电压降。电容器C_1与R_2并联，由于C_1的充放电作用，在R_2两端得到一个较平稳的直流电压，这个直流电压的大小和发电机的端电压成比例，就是说端电压升高，这个电压也升高，端电压下降，这个电压也下降。如果这个电压高于稳压管CW的击穿电压值，将有电流流过稳压管，这个电流将推动直流放大器进行放大。二极管Z_2起温度补偿作用。

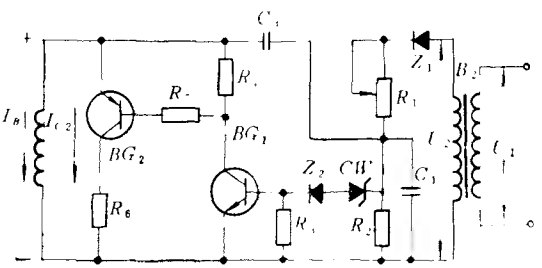


图 3 — 9　电压校正器原理电路图

直流放大部分由三极管BG_1、BG_2和电阻$R_{3\sim6}$组成。由图 3 — 9 中可以看出，三极管BG_2和电阻R_6串联后，并接在励磁线圈的两端，相当于图 3 — 8 中的电阻 R 和开关 K，可起分流作用。BG_1是NPN型三极管，这个三极管的基极和发射极之间只要加有正向电压，就有集电极电流I_{c1}通过，呈导通状态。当基极和发射极之间无正向电压时，三极管呈截止状态。能否有正向电压，决定于稳压管CW能否被击穿，而这又比例于发电机端电压是否超过了整定值。一旦稳压管被击穿，将有电流流经R_3，产生电压降，上端为正，下端为负，使BG_1导通。BG_2是PNP 型三极管，这个三极管的发射极和基极之间只要加有正向电压，就有集电极

电流 I_{c2} 通过，呈导通状态。否则，呈截止状态。能否有正向电压，决定于 R_4 中有无电流通过，R_4 中有电流，在 R_4 上将产生电压降，上端为正，下端为负，使 BG_2 导通。电阻 R_4 中能否有电流，又决定于 BG_1 是否导通。因此，BG_1 导通，BG_2 就导通；BG_1 截止，BG_2 也截止。

由相复励系统整流输出的电流分为两路，一路为 I_B 流经励磁线圈，另一路为 I_{c2} 流经 BG_2 和 R_6。假设整流器输出电流为 I_Z，则

$$I_Z = I_B + I_{c2},$$

式中 I_B——励磁电流；

I_{c2}——BG_2 集电极电流。

当发电机端电压发生变化时，电压校正器各个环节变化如下，我们用箭头的上下表示电压或电流的升降：

$U_1 \uparrow \rightarrow U_2 \uparrow \rightarrow U_{c1} \uparrow \rightarrow I_{cw} \uparrow \rightarrow I_{b1} \uparrow \rightarrow I_{c1} \uparrow \rightarrow I_{b2} \uparrow \rightarrow I_{c2} \uparrow \rightarrow I_B \downarrow \rightarrow U_1 \downarrow$

从上面的变化过程可以看出，由于发电机端电压上升，通过电压校正器的作用，使发电机端电压下降，所以能够使发电机端电压稳定在50±3伏的范围内。调压精度主要取决于两个三极管的放大倍数，放大倍数越大，调压精度越高。

由于电压校正器只能分流，不能产生电流，所以只能在相复励的基础上进行调节，为了保证输出电压在一定范围内连续可调，在设计上把相复励调节特性曲线整个向上平移，使其最低点不低于48伏，同时又要照顾到不使电压校正器分流过大，使空载电压不超过60～65伏。如果在调节电压调整器时，使最低电压低于48伏，则在低于48伏的部分，电压校正器不起作用，会产生过大的电压偏差。图 3—10 为 JF-3 型发电机的外特性。图 3—11 为 JF-3 型电压调整器的原理电路图。

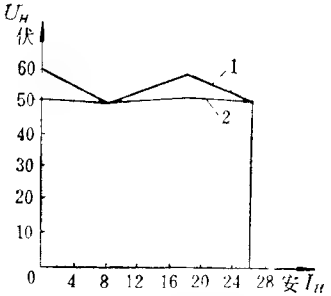


图 3—10 JF-3 型发电机的外特性

曲线（1）——单纯相复励外特性

曲线（2）——相复励与电压校正器综合外特性

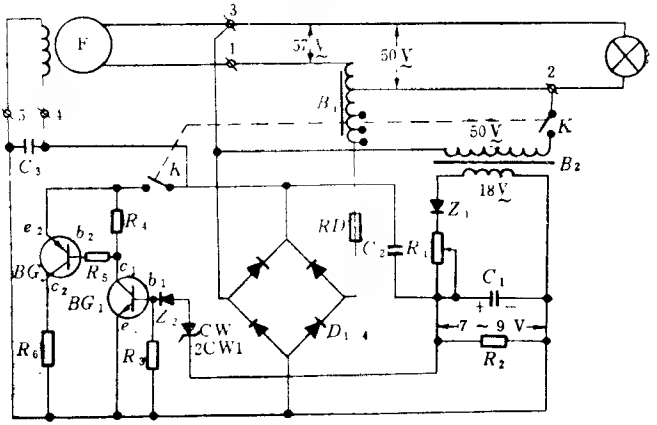


图 3—11 JF-3 型电压调整器原理电路图

各元件参数

BG_1：3DG7B	BG_2：3AD6C
Z_1：2CP12	$D_{1\sim4}$：4×2CZ,5A200V
Z_2：2CP12	CW：2CW$_1$
C_1：100μF，50V	C_2：1μF，63V
C_3：100μF，150V	R_1：1.5kΩ，3W
R_2：2kΩ	R_3：390Ω
R_4：1kΩ	R_5：100Ω
R_6：6.8Ω，8W	RD：2.5A

第三节　发电机和电压调整器的配套试验

发电机和电压调整器在出厂时已经进行配套试验，所以在装车使用时，应注意使发电机和电压调整器编号相同、出厂年月相同的装在一起使用。在使用单位只进行验收试验。如果发电机和电压调整器经过检修，影响电磁性能的部件已经发生变化，或者发电机与电压调整器的编号不同时，必须进行配套试验。试验步骤如下：

1．外观检查：发电机与电压调整器应完好无损，各部螺丝无松动现象，转子转动应灵活、无摩擦现象，否则进行拆检。

2．接好汽管，通入高压蒸汽，空载几分钟，测量转速应在额定范围内。测量发电机的*1*、*3*两接线柱(两根粗线)间的电压，应在1伏以上，低于1伏应进行充磁。

3．按图3—12接好各部接线，最好在负载端串接交流电流表，在电压调整器接线板*2*、*3*端子上接交流电压表。

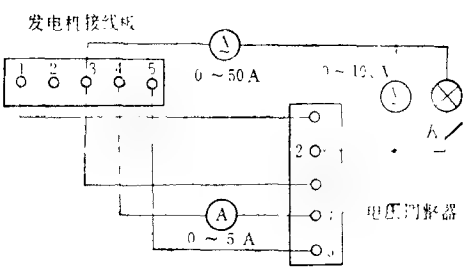


图3—12　发电机和电压调整器试验接线图

上述两电表以中频表为好，如用工频表时误差稍大。在励磁电路串接直流电流表。如果接线正确，发电机及电压调整器无故障，发电机达到额定转速后，应能自励建立电压。如不

能建立电压，可用1.5～3伏干电池在发电机运转中进行充磁，*4*号接正极，*5*号接负极，或将*4*、*5*号接线对调试验。如果用电池充磁时*2*、*3*端有电压，而电池断开时无电压或电压很低，可再进一步加大负载试验。如果加负载后电压升起，去掉负载后电压又降低，则系电压调整器和电机不配套，可调换相复励变压器抽头或增大铁芯间隙，在一般情况下能够解决。

4. 电压正常后，将面板上的小开关扳到“断”的位置，逐渐加大负载直到1.3kVA，此时汽轮机转速下降不应超过200转/分，负载端电压不应低于48伏，转速下降太多时，应调节汽轮机部分；如果电压太低，应减少电压线圈匝数，增大W_1和W_2的匝数比，以增加电流励磁分量。但是电压线圈匝数减少后，将使空载电压升高，还必须重新调整空载电压，这时只能采用调磁路间隙的办法来达到，不能改变匝数了。

5. 空载和负载电压都调整完毕后，将小开关扳到“通”的位置，电压校正器即投入工作。此时旋转电压整定电位器，空载时电压应能在40～55伏范围内任意调节。将空载电压固定在50伏，加减负载试验，电压变化应不超过±3伏。测量三极管BG_2的集电极电流不应超过0.3安，发电机励磁电流应在0.7～2.3安范围内变化，过大或过小，都应检查发电机磁路间隙是否合格。

6. 发电机和电压调整器配套试好后，应作好记录，以备检查、修理、互换时参考。记录内容应包括：空、负载转速，空、负载端电压，空、负载励磁电流，BG_2集电极电流，发电机和电压调整器的编号等。这样，在使用过程中电压调整器发生损坏时，可以用相同参数的电压调整器直接替换，以缩短检修时间。

第四节　电压调整器典型故障检查分析法

电压调整器电气线路故障种类很多，检查方法也很多，只有通过实践，在检修中反复体会，才能总结经验，现将常用的一些方法做简单介绍，供修理工作中参考。

检查分析故障的基本思路是，在对电压调整器原理电路已经熟悉的基础上，分析判断故障的原因，并分段进行检查，以便迅速准确地找到发生故障的部位(参看图3—11)。

电压调整器的典型故障及其检查分析方法如下：

一、不　发　电

不发电分为电压很低和电压为零两种情况。原因有发电机和电压调整器两个方面，我们只分析电压调整器方面。把电压调整器面板上的小开关扳到“断”位，电压校正器切除，只有相复励部分工作。

1．如电压为零，检查保险丝是否熔断，打开面板，用手扳动零件，检查线头是否假焊或脱落。用万用表交流10伏电压挡，测量电压调整器*1*、*3*两端子上有无1～3伏电压，如无电压，说明线路未接通；如有电压，再测整流器交流输入端有无电压。如无电压，即可判断为相复励变压器断路。

2．如整流器输入端电压正常，再检查电压调整器*4*、*5*两端子有无0.5伏以上的直流电压，如有电压，说明输出励磁电路断线或极性接错。如无电压，可能是整流器断路或击穿短路，或者是电解电容器C_3击穿短路。经过上述检查修理，一般都能发电。

3．把小开关扳到“通”位，电压校正器接通，如果电压立即下降很多，甚至接近零位，则认为是电压校正器故

障。

4．将三极管BG_2的基极与发射极短路，如果电压上升，则认为BG_2完好无损，反之，则系BG_2击穿短路或穿透电流太大，应更换BG_2。

5．再将三极管BG_1的基极和发射极短路，若电压上升，说明BG_1完好，反之，则系BG_1击穿短路，应更换BG_1。

6．进一步检查稳压管两端有无7～8.5伏直流电压，如果电压很低，则是稳压管击穿损坏。

7．如稳压管完好，应检查测量变压器有无断线，如未断线，应能正常工作。

二、电压过高，调整电位器后电压不变化

1．将小开关扳到“断”位，如相复励调压系统调整正常，现在电压超高很多，达到80伏以上，且调整相复励变压器抽头无效，则可能是四个整流元件有一个断路或断线，形成半波整流，相复励变压器被直流磁化，使磁路饱和，感抗急剧下降所造成。如检查整流元件完好无损，则要检查相复励变压器有无匝间短路或接线错误。

2．将小开关扳到“通”位，旋转电位器，若电压不变化，则认为是电压校正器故障，用万用表检查测量变压器初级侧有无50伏交流电压。如果没有，即为开关接触不良或断线。

3．检查BG_2发射极到集电极有无4～12伏直流电压。如无电压，即为开关接触不良或导线断路。

4．如上述两个电压正常，可将BG_1短路，若电压下降，则BG_2完好，反之，应检查BG_2是否断路或放大能力太低，或者是6.8欧电阻开焊。

5. 把万用表拨到电阻$R\times 1$档，负表笔接BG_1的基极，正表笔接BG_1的发射极，注入信号，此时电压如下降，说明BG_1完好，否则系BG_1断路、脱焊或无放大能力。

6. 用万用表检查电容器C_1两端有无直流电压7～9伏（测完第5项后，接着测直流电压时，千万别忘把表拨到直流电压档，否则容易损坏万用表），如电压为零，再检查测量变压器次级有无14～18伏交流电压，如无电压或电压过低，是测量变压器损坏；如电压正常，则是二极管Z_1开路或电位器断路或电容器C_1击穿短路。

7. 如C_1两端电压正常，检查稳压管CW和二极管Z_2是否断路或二极管接反。

经过上述检查，电压过高的原因一般可以找到。

第四章　JF-3型发电机的使用维护和检修

第一节　发电机的使用和保养

一、发电机和电压调整器的安装

1．发电机安装前，应先在地面上做好发电机与电压调整器的配套试验，发电机和电压调整器的接线方法如图4—1。试验时，电压调整器面板上的开关应放在“通”位上。必须用13～15公斤/厘米^{2}蒸汽试验。

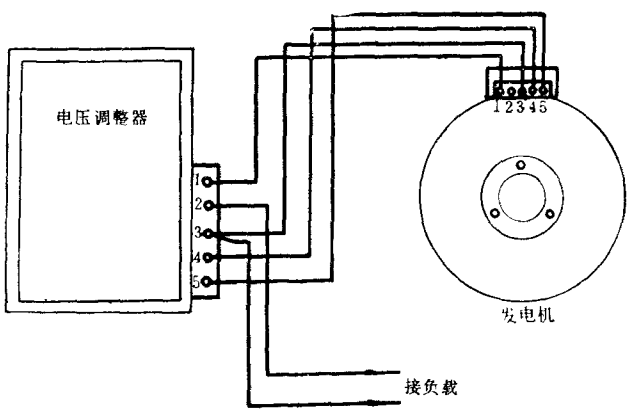


图 4 — 1　发电机与电压调整器的接线方法

2．发电机经过地面配套试验后，横向安装在机车锅炉上部蒸汽塔的前方。在建设型、解放型机车上，汽轮机在机车的右方；在前进型、人民型机车上，汽轮机在机车的左方。整个机体必须保持水平状态。

3. 电压调整器经过地面配套试验后，牢固地安装在司机室内左侧车窗的上方。

4. 发电机和电压调整器安装后，应检查并接通机车照明装置的线路。应保证机车照明线路对机车车体有良好的绝缘。

二、发电机的使用和保养

（一）使用

1. 在启动发电机蒸汽止阀时，应注意先要小开，排除凝结水后再逐渐大开。

2. 发电机在运用过程中，如果出现故障，能判明原因就处理；不能判明原因时，不要乱拆乱卸，应回段后及时通知电机组进行处理。

3. 司机室内几个刀闸开关、保险丝和调压器保险丝，若烧断，必须用规定规格的保险丝进行更换，决不允许用铁丝或其他金属丝代用。

4. 接线应按规定配线线路接装。接装配线时，应注意检查配线有无摩擦和接触，严禁乱改乱接配线。

5. 调压器上的开关K，正常时应放在“通”位上，当发现灯光突然熄灭时，应先检查保险丝是否熔断。如果保险丝并未损坏，可将开关扳至“断”位，此时如果灯光恢复正常，应继续维持使用，到段后进行修理。

6. 电压整定电位器严禁拧动。

7. 乘务员在电机运行中，发现电压突然增高、震动很大或转速增高时，应小开电机蒸汽止阀，降低电机转速，维持运行，到段后修理。

（二）保养

1. 检查时发现刀闸松动、电线破皮或配线不良后，要

及时进行处理。

2. 临时处理配线时，应关闭电机，待接好线路后再开电机，防止由于短路烧坏零件或保险丝。

3. 乘务员交接班时，要认真检查电机安装座螺丝是否松动；接线盒的接点是否紧固；线头有无脱落；灯头、灯泡有无活动；配线有无破损；发现不良者，要及时地进行处理。

4. 冬季使用发电机时，要注意防冻。机车停留时间较长及库内压火与落火洗检入库时，当汽压降低，电机运行转速较低时，必须关闭前灯，并将调压器面板上的开关 K 扳到“断”位，保持电机处于良好状态。

5. 经常检查接线板螺丝有无松动、发热、打火，如遇上述情况应及时处理。

第二节 发电机的检修

一、发电机的解体

（一）蒸汽部

1. 卸下调速阀盖，检查防缓螺丝孔有无磨耗。

2. 卸下涡轮机盖：

（1）检查石墨垫凸出量，不足1.5毫米时应换新。

（2）检查石墨框架两止钉和套是否旷动，磨耗超过1.0毫米时，应换新。

（3）检查喷嘴衬垫是否良好，漏汽时换垫；检查喷嘴孔小端直径，大于7.0毫米时应换新；检查喷嘴有无擦伤，由于涡轮变形而擦伤，应调整涡轮；涡轮变形严重时应换新；检查涡轮端面到涡轮机壳外端面的距离，限度为20毫米，超过时应调整。

（4）检查阀杆在调速阀套内能否自由活动，密闭作用是否良好。它们的最大间隙不得超过0.2毫米。如果锈死

应解体清扫并给油，不密闭时应换新。

（5）检查叉杆（调速臂）作用是否灵活，有无裂纹。

3. 在未卸下调速器以前，应检查两轴承旷动量，超过0.2毫米时换新。

4. 卸下调速器：

（1）检查调速器弹簧是否折断与变形，折断与变形时应换新。

（2）检查两平衡块是否松动，顶套后平面是否磨伤，如果磨伤可将顶套转动90度继续使用。再次磨伤后，应更换新品。

5. 卸下涡轮：

（1）利用涡轮液压拆卸工具卸下涡轮（图4—2），检查涡轮体及叶片有无擦伤，如果局部擦伤，说明涡轮变形，应予以调整，不能调整时，应换新；检查叶片压环有无裂纹，有裂纹者应予以烧焊修复。

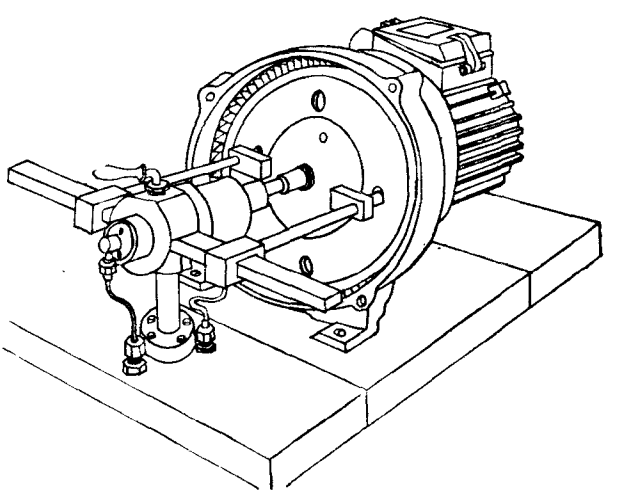


图 4 — 2　涡轮液压拆卸工具

（2）检查挡汽胀圈是否良好，如有折断和不良者应配新胀圈。

（3）检查衬套有无偏磨，如有偏磨应换新套。

（4）取下涡轮轴套及键，检查丝扣状态（图4—3）。

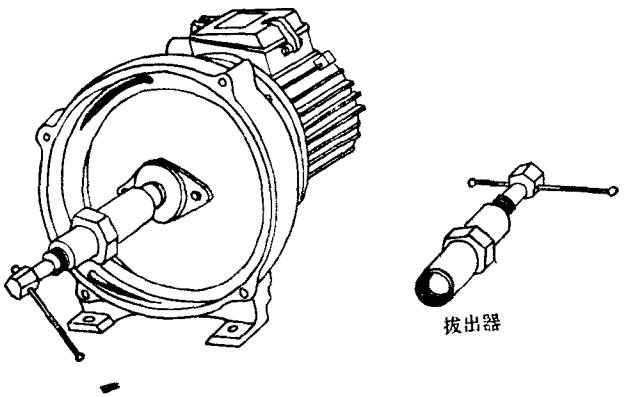


图4—3　轴套拔出工具

（二）发电部

1．卸下前轴承盖，检查盖的状态，有裂纹者应更换；油堵丢失时安装新油堵，丝扣不良者修换。

2．卸下极芯及前端盖紧固螺丝。

3．用专用工具（图4—4）拔出前端盖并检查，有裂纹时更换。前端盖与外壳内口组装须严密。

4．用专用工具压出前端盖轴承，检查轴承是否有拉伤，是否旷动，超过0.2毫米时应换新（图4—5）。

5．检查前轴承内套与轴承压装得是否严密，松旷者应换套；检查键槽是否磨耗。

6．检查轴承外衬套中间密封圈，密封必须良好，不良者更换密封圈。

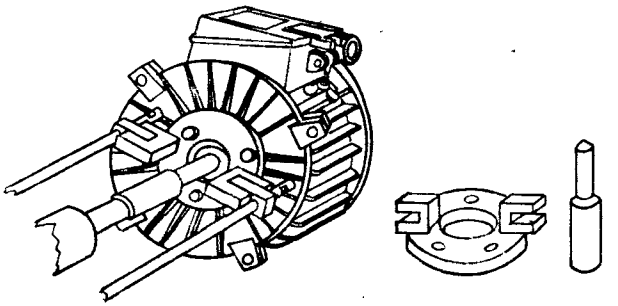


图 4 — 4　卸前端盖卡具

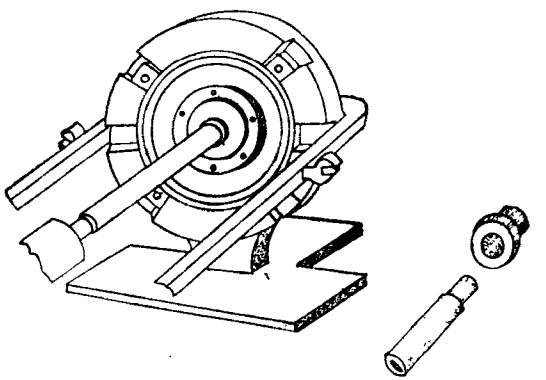


图 4 — 5　轴承顶出工具

7. 用 500 型兆欧表(绝缘表)测量励磁线圈，绝缘不少于 2 MΩ。

（1）用万用表测量励磁线圈，直流电阻不得少于4.3 Ω ± 5 %（20°C）。

（2）检查励磁线圈，安装后不准有松动。有松动现象者，可用绝缘纸或环氧玻璃布板加垫调整并紧固。

（3）检查极芯上螺孔的丝扣是否良好，极芯与端盖组装后须严密。

（4）检查极芯及压盖是否磨耗，磨耗超过0.1毫米时应换新。

（5）励磁线圈如果烧损，可以换新。

8. 拧下发电机外壳四条固定螺钉，用专用工具卸下定子外壳（图4—6）。

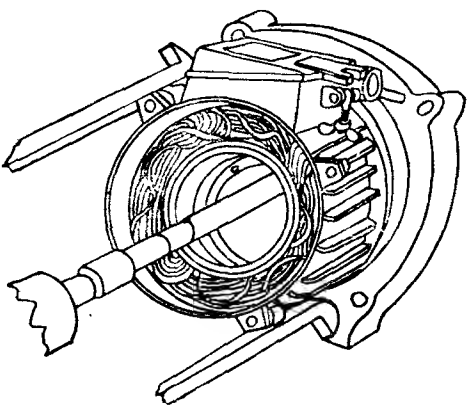


图4—6 拆卸定子外壳

（1）用500型兆欧表（绝缘表）测量定子线圈，绝缘不得少于2MΩ。

（2）检查定子铁芯有无擦伤，擦伤面积不得超过40%，超过者应换新。

（3）检查定子线圈漆皮有无脱落，不良时应更换。

（4）检查引出线套管（直径5毫米醇酸玻璃漆管）有无破损，接头是否良好，不良者应予以修换。

（5）当定子线圈烧损，需要更换定子线圈时，为保证线圈安装的质量，安装以前，应将定子冲片的毛刺清除和擦掉机油。在槽内先镶入两层0.2毫米的绝缘纸。线圈装入后，线圈引出线端伸出定子的距离不得大于25毫米，然后用

1.5毫米厚的环氧玻璃布板的槽楔或竹楔打入槽内，用直径1毫米线绳将线圈缠固，然后浸漆处理。

（6）检查定子外壳有无裂纹、破损，有时应更换。检查丝扣状态是否良好，不良者应更换。

（7）检查定子铁芯与外壳是否松动，如果松动应该修换，但必须注意保持定子铁芯与外壳的同心度。

9. 拆卸转子和中间体以及风扇：

（1）转子

① 先卸下中间油杯，再卸下三个中间体紧固螺丝。用专用工具把中间体（连同转子）由涡轮机外壳上拆下来（图4—7）。

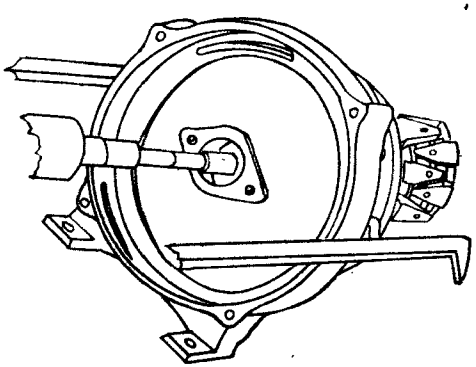


图4—7 顶出中间体

② 松开风扇顶丝，用专用工具由中间体上顶出转子及风扇（图4—8）。

③ 检查前后爪极是否磨耗及有无变形。爪极与定子的径向间隙超过0.9毫米时应换新。

④ 检查爪极内侧与极芯压盖的径向间隙，超过0.9毫米时应更换。

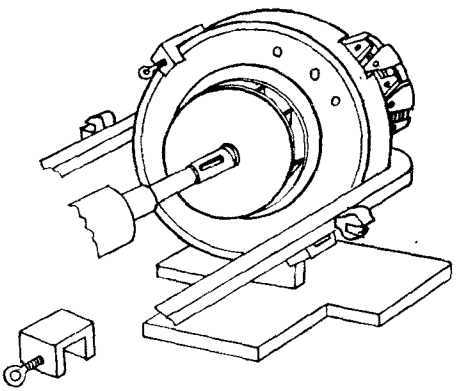


图 4 — 8　解体风扇及转子

⑤　检查爪极有无裂损，各螺钉必须牢固，不良者需更换或修理。

⑥　将转子平放到中心架上（图4—9），并使其旋转，用千分表检查爪极和轴的同心度，检查前后爪极是否有松动现象，测定轴是否弯曲，超过0.1毫米时调直。

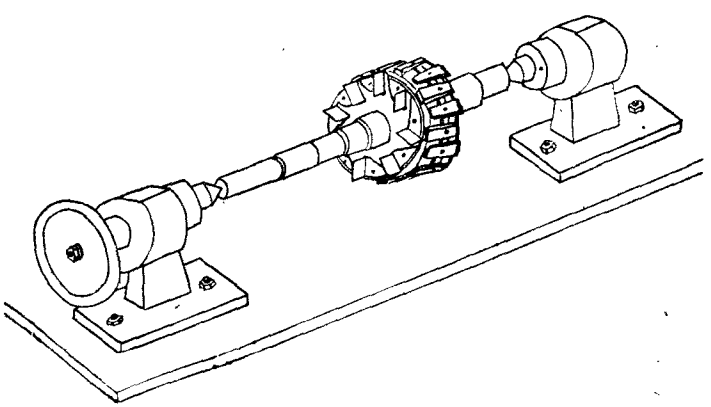


图 4 — 9　在中心架上检查转子

⑦ 检查转子轴上涡轮衬套安装部及键槽是否良好，不良者需修换。

⑧ 检查散热风扇有无破损、松动，破损者需修换；散热风扇安装部是否磨耗，如有磨耗应焊修。

⑨ 检查前端轴承衬套及键槽与中间轴承安装部是否磨耗，如有磨耗应焊修。

⑩ 检查爪极与轴安装部是否松动，松动时可按设计尺寸换修。

（2）隔热风扇

① 检查扇叶与辐板挡圈，开焊者焊修。

② 检查风扇座螺丝及丝扣是否良好。

③ 检查风扇内孔是否磨耗，磨耗时需加修。

（3）中间体和中间轴承内外盖

① 卸下中间轴承内外盖，用专用工具压出轴承（图 4—10）。

② 检查中间体，有裂纹者需更换。

③ 检查中间体与涡轮机紧固螺丝的丝扣是否良好，不良者应修换。

④ 检查中间体与涡轮机的止口，二者必须密贴。

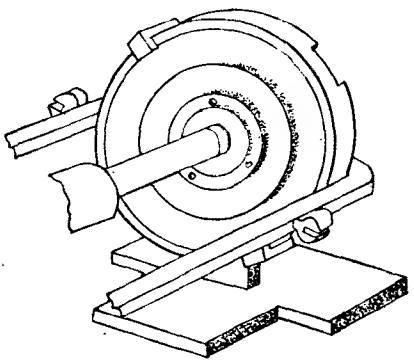


图 4—10 用专用工具压出轴承

⑤ 检查中间轴承内外盖的状态，有裂纹者应更换；螺丝孔丝扣不良者应修换。

⑥ 油封毡圈不良者需更换。

⑦ 检查中间轴承是否有拉伤、磨耗，松旷超过 0.2

毫米时应更换。

⑧ 检查涡轮机壳有无裂损，发现裂损时应更换。

（4）接线盒

① 检查接线端子胶木座是否破损，绝缘是否良好，不良者应更换。

② 检查接线头是否牢固，不牢固者应加以紧固。

③ 检查接线板紧固螺丝是否松动，丝扣是否良好，不良者应修换。

二、发电机主要部件的修理限度

1. 石墨垫框架磨耗量为1.0毫米。

2. 喷嘴小端口直径不得大于7.0毫米。

3. 涡轮端面与涡轮机壳外端面不得大于20毫米 ±0.5毫米。

4. 轴承旷动量不得大于0.2毫米。

5. 石墨垫凸出量不得小于1.5毫米。

6. 前后爪极与定子径向间隙不得大于0.9毫米。

7. 调速阀与套的径向间隙不得大于0.1毫米。

8. 蒸汽喷嘴与涡轮间隙不得小于0.5毫米，不得大于1.0毫米。

9. 涡轮胀圈侧面间隙不得大于0.2毫米。合口间隙：工作状态不大于0.4毫米；自由状态不大于4.25毫米。

10. 后爪极与极芯压盖的径向间隙不得大于0.9毫米。

11. 前爪极与固定极芯径向间隙不得大于0.9毫米。

12. 涡轮衬套偏磨不得大于0.3毫米。

13. 汽阀调整螺丝突出量距汽室体端面不得少于10毫米。

三、发电机的组装

1. 将中间体放在专用工具胎上，用卡具固定，压装中间轴承，涂上润滑脂（二硫化钼），然后组装中间轴承盖。

2. 把转子用液压泵压入中间体。

3. 把工具胎调换方向，用液压泵将隔热风扇压在转子轴上（注意对正顶丝孔），紧固风扇顶丝。

4. 取下中间体转子和风扇，与涡轮机外壳进行组装，组装时应注意保证密贴。

5. 定子外壳与涡轮机外壳进行组装，组装时应保持密贴。

6. 将前端盖放在专用工具胎上，用液压泵压入前端轴承与轴承内衬套，并在轴承内涂润滑脂（二硫化钼）。

7. 在固定极芯上垫好绝缘挡圈，将励磁线圈安装在固定极芯上，并垫好绝缘挡圈，如果旷动，应在线圈内径加绝缘纸垫，放上压盖，紧固螺丝。在压盖紧固的同时，应能把励磁线圈压紧（注意压盖应与固定极芯端面密贴）。

8. 固定极芯与前端盖进行组装（在组装时要注意端盖与固定极芯组装的位置，引出线在上方，并测量固定极芯组装尺寸以及爪极内部深度尺寸是否标准）。

9. 在转子前端轴承安装部上安装好键，然后将前端盖对准键，引出线从引出孔内引出，并与定子外壳组装，接触需严密（组装时不要将励磁线圈引出线卡断，并将线头紧固）。

10. 用手转动转子检查转动是否灵活，然后组装前轴承盖与油堵。

11. 安装涡轮键，组装轴套与涡轮。用尺测量涡轮至涡轮机壳外端面的尺寸是否合乎20±0.5毫米。

12. 用卡具卡紧涡轮，用专用工具把调速器紧固。

13．组装涡轮机盖，必须注意密贴。

14．安装调速螺丝与汽室盖（在安装时，注意调速螺丝突出汽室体端面不得小于10毫米，推动调速螺丝，在汽室盖防缓孔内必须灵活）。

15．用螺丝刀拨动隔热风扇，检查涡轮是否卡住。安装中间油杯。

第三节　发电机和电压调整器的性能试验

1．将发电机接上蒸汽（汽压在13～15公斤/厘米^2），开通汽阀使发电机空转。用转速表测量转速，并将转速调整在3500转/分。

2．检查发电机有无震动与漏汽。

3．用电压表在电机的*1*和*3*端子上测量剩磁电压，不得低于1伏，如果低于1伏应充磁（用1.5伏干电池，正极接*4*号端子，负极接*5*号端子，即可充磁）。

4．电机与电压调整器接线如图4—1。

电机空载时，电压应在50伏以上，低于50伏时，可减少相复励线圈匝数；高于60伏时，可增加相复励线圈匝数。加负载1.3千瓦后，电压应不低于48伏，转速降不得超过200转/分，但汽轮机转速不得低于3250转/分。

5．将调压器面板上的开关*K*扳到“通”位，旋转电压整定电位器，调整在50伏，接上负载，电压不得低于48伏。

6．达不到上述要求时，可在励磁电路中串接直流电流表，检查空载与负载的励磁电流：空载0.7A～1.0A；负载1.8A～2.3A。任意变动负载时，电压应为：48V～52V。转速：3250～3500转/分。

如果空载励磁电流超过1.0安，或者负载励磁电流超过2.3安，确实因为电机磁路影响时，应将电机解体检修。

第四节　发电机的故障处理

在线路及电压调整器良好的情况下，发电机发生以下故障时的处理方法：

一、发电机不转

1．蒸汽止阀口脱落：卸开蒸汽管接头，开通蒸汽止阀，如果无蒸汽，证明止阀口脱落，通知蒸汽组修换。

2．汽阀固死：取下涡轮机盖，用手推动叉杆，如果叉杆不能自行复位，说明汽阀固死，应分解汽室阀体进行处理。

3．调速器及石墨垫框架破损：更换调速器或石墨垫框架。

4．爪极与散热风扇破损：更换爪极或散热风扇。

5．爪极平衡块脱落：卸下涡轮机盖，取出平衡块，重新换装。

6．涡轮破损：更换涡轮。

二、发电机不发电

1．励磁线圈短路、开路、烧损：用万用表 $R\times 1\ \Omega$ 档测量励磁线圈电阻是否4～5Ω。如果无限大，证明断路，找出断线部位进行焊接。如烧损须更换。

2．接线板线头不导电：检查紧固螺丝以及线头，然后紧好。

3．定子绕组断路：用万用表 $R\times 1\ \Omega$ 档测量，如无限大，可找出断路部位进行焊接。

4．定子绕组烧损、破损：更换定子绕组。

5．输出端短路：用兆欧表检查后排除。

6．极芯压盖脱落：检查丝扣后紧固。

三、转 速 不 够

1. 蒸汽止阀开度不够：可通知蒸汽组加以修整。
2. 蒸汽管因焊接堵塞：将堵塞处割掉，重新焊接。
3. 滤尘网堵塞：清扫水锈，排除堵塞。

四、转 速 超 高

1. 调速螺丝掳扣：更换螺丝。
2. 调速螺丝在汽室盖防缓孔中转动：更换汽室盖或调速螺丝。

五、加负载后降转严重

1. 喷嘴垫破损：更换新垫。
2. 扫膛：爪极在车床上精车0.2毫米，严重者更换。前轴承破损或内衬套松旷时应更换。

六、励磁电流大

1. 扫膛：处理方法同上。
2. 极芯压盖与固定极芯未贴紧：拧紧压盖。
3. 励磁线圈、定子线圈局部短路：修换。
4. 转速低：检查汽轮机。

七、震 动 大

1. 轴承破损：更换轴承。
2. 轴承线疵拉伤：同上。
3. 转速超高：调整。
4. 涡轮摆动量大：更换涡轮。

八、电 压 不 够

1.励磁线圈或定子线圈局部短路：进行修换。

2. 超负载：减少负载，处理线路，搞好绝缘。

3. 固定极芯压盖松动：紧固。

九、灯 光 闪 烁

1. 固定极芯压盖松动：紧固。

2, 接头接触不良：紧固。

3. 线圈或线路绝缘不良：用绝缘表测量并排除。

附录一　JF-3型发电机主要零、部件一览表

顺号	图号	名称	顺号	图号	名称
1	TPJ63-00-01	喷嘴	15	TPJ63-02-04A	固定极芯
2	TPJ63-00-02	涡轮机外壳	16	TPJ63-02-05B	前端盖
3	TPJ63-00-03	中间体	17	TPJ63-02-06	前轴承盖
4	TPJ63-00-04	中间轴承后盖	18	TPJ63-02-07	轴承外套
5	TPJ63-00-05	中间轴承前盖	19	TPJ63-02-08	轴承内套
6	TPJ63-00-08	发电机外壳	20	TPJ63-03-00	转子组装
7	TPJ63-00-11	油杯体	21	TPJ63-04-00	隔热风扇
8	TPJ63-00-12	油杯堵	22	TPJ63-05-00	接线盒装置
9	TPJ63-01-00	定子组装	23	TPJ63-06-00	电压调整器
10	TPJ63-01-05	定子线圈	24	TPJ63-06-04	线路板
11	TPJ63-01-06	槽楔	25	TPJ63-06-05	相复励变压器
12	TPJ63-02-01	极芯压盖	26	TPJ63-06-10	印刷电路部件
13	TPJ63-02-02	挡圈	27	TPJ63-06-10/1	印刷电路板
14	TPJ63-02-03	励磁线圈	28	TPJ63-06-10/2	测量变压器

附录二　JF-3型发电机电压调整器电器元件一览表

名称	型号	规格	每台数量	技术数据
接线板	X5-2005	20A	2	
测量变压器	MB1-1	800∶300	1	匝比800∶300；空载电流≤40mA；电压比50∶18；导线 φ0.17mm，50V，450Hz。
电位器	WX3-1	1.5kΩ；3W	1	
二极管	2CP12	100mA/200V	2	
电阻	RJ	2kΩ；0.5W	1	
电阻	RJ	390Ω；0.5W	1	
电阻	RJ	1kΩ；0.5W	1	
电阻	RJ	100Ω；0.5W	1	
电阻	RXYD	6.8～10Ω；4W	1	

续上表

名　称	型　号	规　格	每台数量	技　术　数　据
电 容 器	CD-1	100μf/150V	1	
电 容 器	CDX-3	3μf/25V	2	（可用1μf/63V代替）
稳 压 管	2CW1	7～8.5V	1	
二 极 管	2CZ	5A/200V	4	
三 极 管	3DG7B		1	$\beta \geq 50$；$BV_{ceo} \geq 35V$
三 极 管	3AD6C		1	$\beta \geq 30$；$BV_{ceo} \geq 30V$
保险丝盒	BLX		1	
保险丝管		2.5A，31mm	1	
钮子开关	KNX-3	2×2	1	
电 容 器	CDX-1	100μf/50V	1	

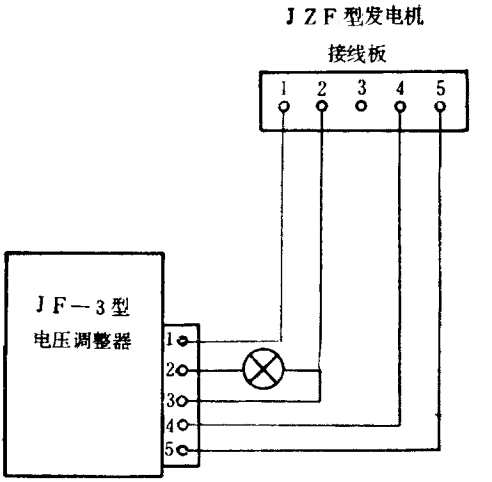
附录三　JZF型发电机的使用改装方法

JZF型发电机原系与可控硅调压器配套使用的。如可控硅调压器损坏，无法修复，而电机又没有损坏，可与JF-3型电压调整器配套使用，不需做任何改动。接线方法见附图1，只要把电机的*3*号接线柱（副绕组）空着不接就行了。

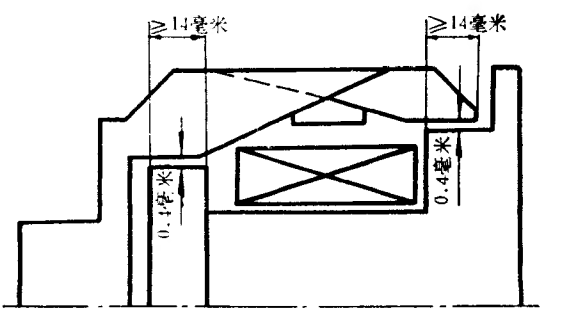
如果JZF型发电机的爪部或励磁线圈损坏，又无配件更换时，可改造成JF-3型发电机，这时应更换转子组装、固定极芯、励磁线圈和极芯压盖等器件即可。装配时注意轴向尺寸，保证间隙部位的覆盖长度不少于14毫米，达不到时加以修正（参看附图2）。

如果JZF型发电机和可控硅调压器均未损坏，可以稍加改动，可以象JF-3型发电机一样使用，方法如附图 3 所示。

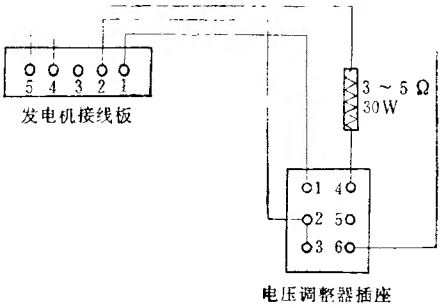
将调压器的*2*、*3*线短接，电机接线板的*3*号不接，在磁场回路中串接一个3～5Ω电阻（功率30瓦），如果起电太慢，可减小串接电阻值，这样改接以后，就可带负载起动和关汽门了。改装后的JZF型电压调整器电路原理图见附图4。



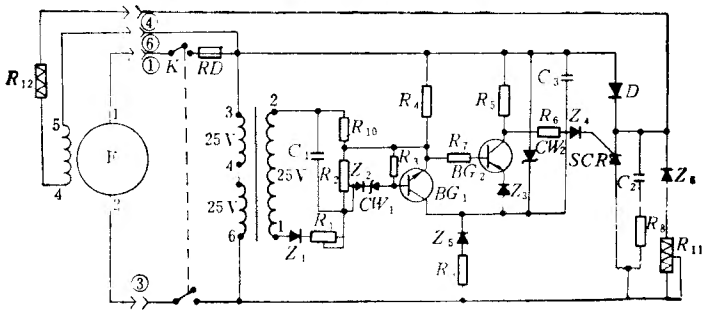
附图 1　JZF 型发电机与 JF-3 型电压调整器配套使用接线图



附图 2　间隙配合示意图



附图 3　JZF型电机及调压器改装接线图



附图 4　改装后的JZF型电压调整器电路原理图

各元件参数

D	5 A,200V	R_4	3.9k
Z_6	2 CZ11B	R_7	620Ω
R_{11}	15W,150Ω	BG_1	3DG7B
C_2	0.1μ	Z_5	2CP23
R_8	100Ω	R_9	140Ω,3×4W
C_3	10μ,50V	R_{10}	220Ω
Z_4		R_3	390Ω
SCR	5 A,300V	Z_2	
R_6	51 Ω	CW_1	2CW$_1$
CW_2	10W13	R_2	1.5k
BG_2	3 AX31C	R_1	1.5k
Z_3		Z_1	2CP12
R_5	3.9k	C_1	10μ,50V
		RD	2.5A
R_{12}	3~5Ω,30W		